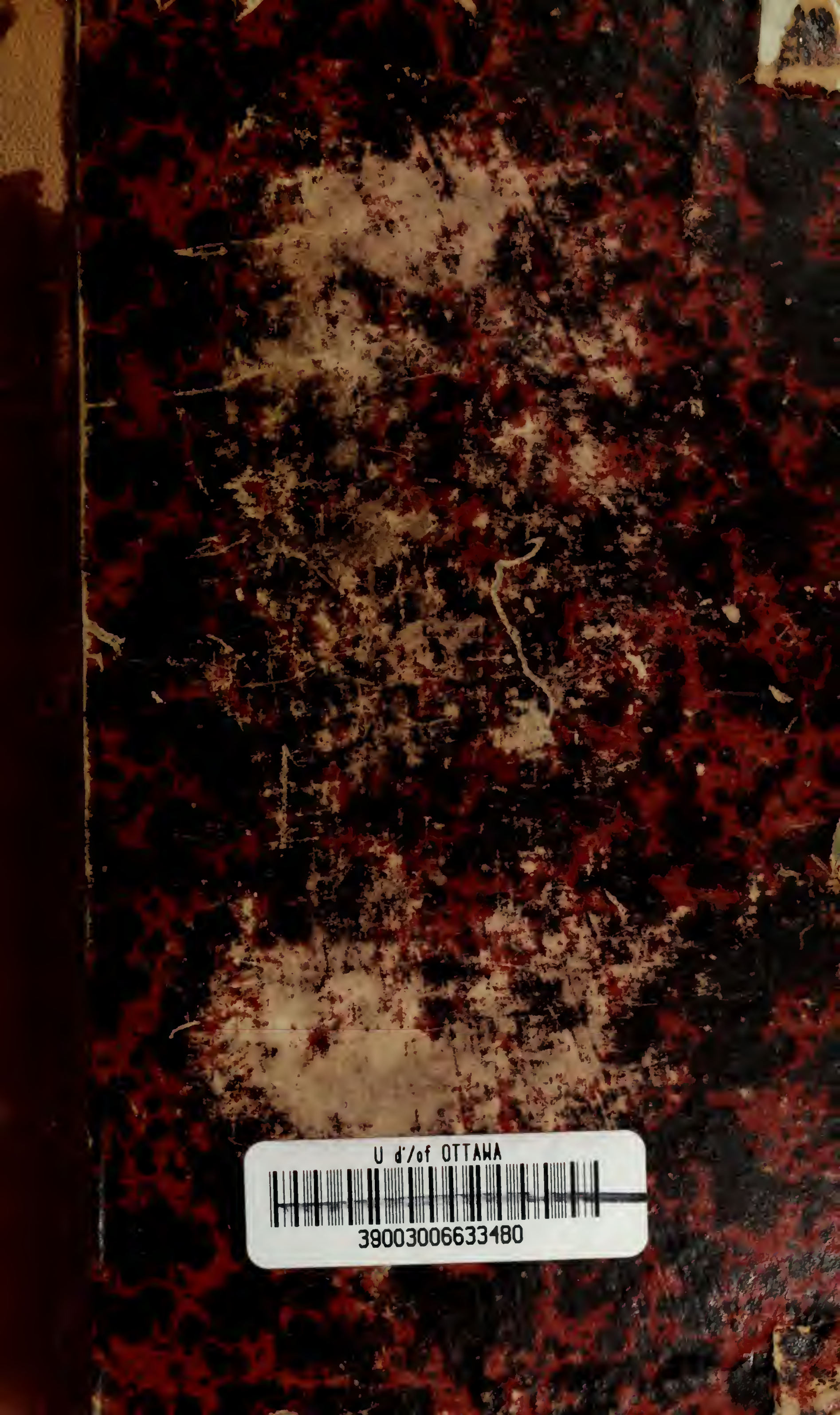

U d'/of OTTAWA
39003006633480





ÉLÉMENTS

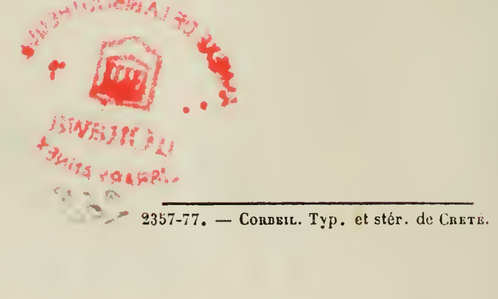
DE

GÉOLOGIE

TOME I







2357-77. — Corbeil. Typ. et stér. de Crété.

ÉLÉMENTS

DE

GÉOLOGIE

OU CHANGEMENTS ANCIENS

DE LA TERRE ET DE SES HABITANTS

TELS QU'ILS SONT REPRÉSENTÉS PAR LES MONUMENTS GÉOLOGIQUES

PAR

SIR CHARLES LYELL, BARONNET

Membre de la Société royale de Londres, auteur des *Principes de Géologie*, des *Preuves géologiques de l'antiquité de l'homme*, etc., etc.

Traduit de l'anglais sur la sixième édition

AVEC LE CONSENTEMENT DE L'AUTEUR

Par M. J. GINESTOU

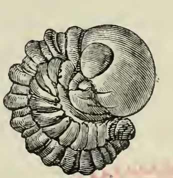
Bibliothécaire de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale.

SIXIÈME ÉDITION

CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE ET ILLUSTRÉE DE 770 GRAVURES SUR BOIS

NUMMULITE — AMMONITE — TRILOBITE





TERTIAIRE — SECONDAIRE — PRIMAIRE



PARIS

GARNIER FRÈRES, LIBRAIRES-ÉDITEURS

6, RUE DES SAINTS-PÈRES, 6.





PRÉFACE DE L'AUTEUR

La dernière ou cinquième édition de cet ouvrage a paru en février 1855 ; il s'est donc écoulé près de dix ans depuis cette publication. Les causes qui m'ont fait ajourner pendant plusieurs années la réimpression de ce livre sont, les nombreux voyages que j'ai faits dans les diverses parties de l'Europe, et, dans ces derniers temps, la composition de mon ouvrage sur *les Preuves géologiques de l'antiquité de l'homme*, ainsi que les appendices aux 2e et 3e éditions de ce traité. Depuis 1855, j'ai publié plusieurs suppléments à ces *Éléments de Géologie;* ils sont maintenant incorporés dans ces volumes, qui ont été en outre augmentés de plus de 50 nouvelles illustrations, et de 200 pages de texte inédit. Par ces additions considérables, l'ouvrage ayant pris une extension qui dépasse les limites ordinaires d'un manuel, je lui ai rendu son titre primitif de *Éléments de Géologie*, titre sous lequel je le fis paraître en 1838, dans le but de donner un plus large développement aux quatre parties de mes *Principes de Géologie*, qui étaient arrivés à cette époque à la 5e édition.

Les *Éléments de Géologie* furent successivement réédités dans les années 1842, 1851, 1852 et 1855, et chaque fois

avec des changements et des additions considérables. A ces diverses époques, j'ai donné la nomenclature des principales corrections et augmentations introduites dans chaque nouvelle édition, et qui faisaient différer celle-ci de la précédente ; mais je craindrais de fatiguer le lecteur par les détails longs et fastidieux d'une semblable énumération, et je la lui épargnerai cette fois.

Cette édition contient, comme les précédentes, une table alphabétique des matières, et je ferai observer à l'élève géologue que tous les restes organiques qui sont représentés dans le texte par des gravures sur bois sont indiqués en lettres italiques dans la table.

Charles LYELL,

53, *Harley Street, Londres*, 20 *décembre*, 1864.

Comme il serait impossible au lecteur de reconnaître des roches et des minéraux à la simple vue des figures, même avec l'aide des descriptions données dans le texte, nous l'engageons à se procurer, pour cette étude, une collection de spécimens méthodiquement coordonnée.

ÉLÉMENTS

DE

GÉOLOGIE

CHAPITRE PREMIER

DES DIFFÉRENTES CLASSES DE ROCHES.

Définition de la géologie. — Formation successive de la croûte terrestre. — Classification des roches suivant leur origine et suivant leur âge. — Roches aqueuses. —Leur stratification et les fossiles qu'elles renferment. — Roches volcaniques avec ou sans cônes ni cratères. — Roches plutoniques ; leurs rapports avec les roches volcaniques. — Roches métamorphiques ; leur origine probable. — Du mot *primitif;* c'est improprement qu'on l'a appliqué aux formations cristallines. — Division générale de l'ouvrage.

Quelles sont les matières qui composent la terre, et comment ces matières sont-elles disposées ? Telles sont les premières questions qui font l'objet de la géologie, science dont le nom dérive des mots grecs γῆ, *gê* (terre), et λόγος, *logos* (discours). Avant d'avoir acquis quelque expérience, on pourrait supposer que des recherches de cette nature concernent exclusivement le règne minéral et les diverses roches, sols et métaux qui se trouvent à la surface de la terre ou à ses différentes profondeurs ; mais, en poursuivant l'investigation, on est bientôt conduit à examiner les changements successifs qui ont eu lieu dans l'état primitif de la surface et de l'intérieur du globe, et à étudier les causes qui ont produit ces changements ; et, chose plus singulière encore et plus inattendue, on se trouve bientôt entraîné à fouiller l'histoire de

la création animée et des diverses tribus d'animaux et de plantes qui, à différentes époques, ont habité notre planète.

Personne n'ignore que les parties solides de la terre consistent en substances distinctes, telles que : argile, craie, sable, calcaire, charbon, schiste, granit, etc. ; mais avant d'avoir observé, on s'imagine communément que toutes ces substances sont restées, dès le principe, telles que nous les voyons aujourd'hui, qu'elles ont été créées sous leur forme présente, et dans la position qu'elles occupent actuellement. Le géologue arrive bientôt à une conclusion différente, dès qu'il découvre que les parties extérieures de la terre ont acquis graduellement leur configuration et leur condition sous l'empire d'une grande variété de circonstances, et à des époques successives, pendant lesquelles des races distinctes d'être animés ont vécu sur la terre et dans les eaux, pour laisser ensuite leurs dépouilles au sein de la croûte terrestre.

On entend par *croûte terrestre* cette petite portion de l'extérieur de notre planète, qui est accessible à l'observation de l'homme, et sur laquelle nous pouvons raisonner d'après l'examen de sa surface ou des points qui en sont rapprochés. Nos raisonnements peuvent s'étendre jusqu'à une profondeur de plusieurs kilomètres, quinze ou seize peut-être, épaisseur à peine égale à la 400e partie de la distance de la surface au centre ; mais bien que cette épaisseur soit insignifiante, si on la compare au diamètre entier du globe, elle est considérable encore relativement à l'homme et aux êtres organisés qui peuplent la terre. Le géologue peut donc tout à la fois admirer les vastes limites de son domaine, et reconnaître que non-seulement l'extérieur de la planète, mais la totalité de sa masse n'est qu'un atome au milieu des mondes innombrables qu'il est donné à l'astronome de contempler.

Les matières qui composent la croûte terrestre ne sont pas confusément mêlées ; des masses minérales distinctes, nommées roches, occupent des espaces définis et offrent un certain ordre dans leur disposition. La dénomination de *roches* s'applique indifféremment à toutes ces masses miné-

rales, qu'elles soient molles ou qu'elles soient pierreuses ; le sable et l'argile sont compris sous cette dénomination, que l'on a même quelquefois appliquée à la tourbe. Nos plus anciens écrivains se sont efforcés d'éviter une expression qui offrait une telle infraction à notre langue : ils ont dit, en parlant des matières qui composent la terre, qu'elles consistent en roches et *sols*. Mais il y a souvent une transition si insensible de l'état mou et incohérent à l'état pierreux, que les géologues de tous les pays ont jugé indispensable de consacrer un mot pour désigner l'un et l'autre de ces deux états. On a en français le mot *roche*, en talien *rocca*, et en allemand *felsart*. Le commençant devra donc constamment se souvenir que le mot roche n'implique pas nécessairement une masse minérale présentant la condition de matière dure ou pierreuse.

Le moyen le plus naturel et le plus convenable de classer les différentes roches qui composent la croûte de la terre, est de se reporter d'abord à leur origine, puis ensuite à leur âge relatif. Je commencerai donc par expliquer brièvement comment on peut diviser toutes les roches en quatre grandes classes, d'après leur origine différente et les causes diverses qui les ont produites.

Les deux premières divisions qui paraîtront d'abord les plus naturelles, comprennent les roches aqueuses et les roches volcaniques, c'est-à-dire les produits de l'action aqueuse, et ceux de l'action ignée agissant à la surface ou près de la surface.

Roches aqueuses. — Les roches aqueuses, quelquefois nommées sédimentaires ou fossilifères, couvrent une plus grande portion de la surface de la terre que toutes les autres. Elles sont *stratifiées*, c'est-à-dire divisées en bandes distinctes ou strates. Le mot *stratum* (strate ou couche) signifie simplement un lit de toute espèce de matière répandue sur une surface donnée. On admet que les couches ont été généralement produites par l'action des eaux, d'après ce que l'on voit journellement se passer sous nos yeux, près de l'embou-

chure des rivières ou sur les continents, pendant les inondations temporaires : toutes les fois qu'un courant d'eau chargé de boue ou de sable se trouve ralenti dans sa course, par exemple lorsqu'il entre dans un lac ou dans la mer, ou bien lorsqu'il se répand sur une plaine, le sédiment, qui était retenu en suspension par le mouvement de l'eau, tombe au fond par l'effet de son propre poids, et des lits de vase et de sable se déposent les uns sur les autres.

Lorsqu'on dessèche un lac qui a été alimenté par un petit ruisseau, on trouve fréquemment au fond une série de dépôts disposés avec une remarquable régularité l'un au-dessus de l'autre. Le supérieur sera peut-être une couche de tourbe; au-dessous, on rencontrera une variété plus dense et plus solide de la même substance; plus bas encore un lit de marne avec coquilles, alternant avec du sable ou de la tourbe; puis d'autres lits de marne séparés par des bandes d'argile. Si l'on creuse un second puits, à quelque distance du premier et au travers de la même formation lacustre, on observera une série presque identique de lits, à de légères variations près; quelques-unes des bandes de sable, d'argile ou de marne, manqueront; une ou plusieurs de ces bandes se seront amincies pour faire place à d'autres; ou bien quelquefois l'une des masses aura pris un grand développement en épaisseur, à l'exclusion des autres.

Le mot *formation* que j'ai employé ci-dessus exprime, en géologie, un ensemble de roches qui ont quelques caractères communs, soit d'origine, soit d'âge, soit de composition. C'est ainsi que nous disons : formations stratifiées et formations non stratifiées; formations marines ou d'eau douce, aqueuses ou volcaniques, anciennes ou modernes, métallifères ou non métallifères.

Dans les estuaires des larges rivières, telles que le Gange et le Mississipi, on peut observer, à basses eaux, des phénomènes analogues à ceux des lacs desséchés que nous avons mentionnés ci-dessus ; mais ces phénomènes se développent alors sur une plus vaste échelle et sur une étendue de plu-

sieurs centaines de kilomètres en longueur et en largeur. Lorsque les inondations périodiques viennent à baisser, la rivière se creuse un lit jusqu'à une profondeur de plusieurs mètres, à travers des couches horizontales d'argile et de sable dont on peut ensuite étudier la tranche, exposée sous forme d'escarpements perpendiculaires. Ces couches varient dans leur composition minéralogique, leur couleur, la finesse ou la grossièreté des particules qui les composent ; quelques-unes sont accidentellement caractérisées par la présence de bois transportés. A la jonction de la rivière et de la mer, spécialement dans les lagunes qui sont presque séparées de l'Océan par des barres de sable, il se forme souvent des dépôts avec des coquilles d'eau saumâtre et des coquilles d'eau salée.

On connaît les débordements annuels du Nil, les dépôts fertiles de boue qu'ils laissent sur les plaines. Cette boue se stratifie, et la couche mince qui a été formée pendant une année diffère légèrement par la couleur de celle de l'année précédente ; on peut même l'en séparer comme on l'a remarqué dans des excavations faites au Caire et dans d'autres endroits (1).

Lorsque des lits de sable, d'argile et de marne, contenant des coquilles et des matières végétales, sont disposés d'une manière semblable dans l'intérieur de la terre, on leur assigne une origine commune, et plus on étudie minutieusement leurs caractères, plus on trouve que la ressemblance est exacte. Ainsi, à différentes hauteurs et profondeurs de la terre, souvent à une très-grande distance de la mer, des lacs ou des rivières, on trouve des bancs de galets siliceux, calcaires, granitiques, etc., parfaitement semblables aux galets du bord de la mer ou du gravier au lit d'un torrent. Ces bancs de cailloux arrondis alternent fréquemment avec d'autres bancs qui sont formés de sable ou de sédiment fin, comme il est facile d'en observer dans le canal d'une rivière qui

(1) Voyez *Principes de géologie*, par l'auteur : index, Nil, Rivières, etc.

descend de montagnes bordant une côte ; pendant une certaine saison, le courant a entraîné dans sa course du sable grossier et du gravier, tandis que, dans une autre saison, lorsque les eaux sont devenues basses et moins rapides, il n'a charrié que du limon fin et du sable (1).

Si la disposition stratifiée et la forme arrondie des cailloux suffisent seules pour nous faire admettre que certaines roches ont été formées sous l'eau, cette opinion se trouve encore confirmée par les preuves distinctes et indépendantes que fournissent les fossiles répandus en si grande abondance dans la croûte terrestre. On appelle *fossile,* tout corps ou traces de l'existence du corps d'un animal ou d'un végétal quelconque qui a été enfoui dans la terre par des causes naturelles. On rencontre aujourd'hui, presque partout, dans les roches stratifiées, des restes d'animaux, surtout d'espèces aquatiques, et ces restes sont quelquefois tellement abondants dans le calcaire, qu'ils constituent la masse entière de la roche. Les plus fréquents sont les coquilles et les coraux ; ils sont souvent accompagnés d'os et de dents de poissons, de fragments de bois, d'empreintes de feuilles et d'autres substances organiques. On trouve au loin, dans les terres, près de la surface ou à une grande profondeur, des coquilles fossiles de la forme de celles qui abondent aujourd'hui dans la mer. On en rencontre à toutes les hauteurs au-dessus du niveau de l'Océan ; on en a observé à des élévations de plus de 2400 mètres dans les Pyrénées, de 3000 mètres dans les Alpes, de 3900 mètres dans les Andes, et de 5400 mètres dans l'Himalaya (2).

Ces coquilles appartiennent la plupart à des testacés marins ; mais, comme en quelques endroits elles présentent exclusivement les formes caractéristiques des espèces propres aux lacs et aux rivières, on peut en conclure que quelques-unes des couches ont été déposées dans les profondeurs de

(1) Voyez page 30, fig. 7.

(2) Le colonel R.-J. Strachey a trouvé des fossiles oolitiques à une hauteur de 5,600 mètres environ, dans l'Himalaya.

la mer, tandis que les autres ont été formées dans les lacs ou dans les estuaires.

A l'époque où l'on commença à étudier la géologie, on pensait généralement que ces coquilles marines, et autres fossiles, étaient le résultat et la preuve du déluge de Noé ; mais, depuis longtemps, ceux qui ont étudié avec soin les phénomènes, ont rejeté cette opinion. On peut supposer qu'une inondation passagère laisse çà et là derrière elle et sur la surface des monticules isolés de limon, de sable, de cailloux, confusément mêlés de coquilles ; mais les couches qui contiennent des fossiles ne sont pas exclusivement superficielles et ne couvrent pas simplement la terre, elles constituent au contraire la masse entière des montagnes. Les fossiles n'y sont pas non plus disséminés pêle-mêle, sans aucun rapport avec les habitudes originelles et la nature des êtres qu'ils représentent : on ne trouve guère, par exemple, associés ensemble, ceux qui ont vécu dans les eaux profondes et ceux qui ont vécu dans les eaux basses, les espèces côtières et celles qui s'éloignaient des bords, celles qui se plaisaient dans les eaux saumâtres et celles qui recherchaient les eaux salées.

Quelques écrivains modernes qui n'ignorent pas que les corps fossiles ne peuvent pas tous être rapportés au déluge, ont pensé que ces corps, ainsi que les couches dans lesquelles ils sont renfermés, pouvaient avoir été déposés dans le lit de l'Océan pendant la période qui s'est écoulée entre la création de l'homme et le déluge. Ils ont imaginé que le lit antédiluvien de l'Océan, après avoir été le réceptacle de plusieurs dépôts stratifiés, serait devenu, à l'époque du déluge, le continent que nous habitons, et que les anciens continents auraient été submergés et transformés en ce qui forme le lit actuel des mers. Cette hypothèse, quoiqu'elle soit préférable à la théorie diluvienne, puisqu'elle admet que toutes les couches fossilifères ont été successivement déposées par les eaux, est encore tout à fait insuffisante pour expliquer les révolutions répétées que la terre a subies ; elle ne saurait non

plus rendre compte des indications qui, dans la plupart des pays, nous montrent les continents actuels émergés de l'Océan depuis bien plus de quatre mille ans. Nous fournirons dans la suite des preuves convaincantes de ces révolutions réitérées, et l'on verra que différents groupes de couches sédimentaires, de quelques centaines et même de quelques milliers de mètres d'épaisseur, ont été entassés les uns sur les autres dans la croûte de la terre, chacun d'eux contenant des animaux et des plantes fossiles d'espèces que l'on peut distinguer, pour la plupart, de celles qui existent encore aujourd'hui. Quelques-unes de ces couches se composent presque entièrement de coraux, d'autres renferment des coquilles, d'autres des plantes transformées en charbon, d'autres enfin sont absolument dépourvues de fossiles. Dans telle série de couches, les espèces fossiles sont marines ; dans telle autre, placée immédiatement au-dessus ou au-dessous, les espèces prouvent clairement que le dépôt a été formé dans un lac ou dans un estuaire d'eau saumâtre. Quand l'élève aura examiné attentivement ces faits, il restera convaincu que le temps requis pour la formation des roches qui composent les continents actuels doit avoir été bien plus long que celui qui est assigné par la théorie dont nous avons parlé ; il sera convaincu de plus qu'aucune hypothèse de transformation universelle ou soudaine de la mer en continent ne peut rendre compte des phénomènes géologiques.

Cette grande classe de roches, quelque variables que soient celles-ci dans leur composition minérale, leur couleur, leur texture et leurs autres caractères, tant extérieurs qu'intérieurs, peut se grouper sous une seule et même origine. Toutes ont été formées sous l'eau de la même manière que les accumulations de sable, de boue, de galets, de bancs de coquilles, de coraux et de tant d'autres qui se développent encore de nos jours, et toutes sont caractérisées par la stratification ou par des fossiles, et souvent par les deux à la fois.

Roches volcaniques. — La division des roches que

nous devons ensuite examiner est celle des roches volcaniques, c'est-à-dire qui ont été produites près de la surface ou à la surface de la terre, soit à des époques reculées, soit dans les temps modernes, non par l'action de l'eau, mais par celle du feu ou de la chaleur souterraine. Ces roches, pour la plupart non stratifiées, sont dépourvues de fossiles. Elles sont plus limitées que les formations aqueuses, du moins quant à leur étendue horizontale. Au nombre des contrées de l'Europe où elles présentent des caractères auxquels on ne saurait se méprendre, je dois citer non-seulement la Sicile et le pays qui environne Naples, mais encore l'Auvergne, le Velay et le Vivarais (aujourd'hui les départements du Puy-de-Dôme, de la Haute-Loire et de l'Ardèche), au centre et vers le sud de la France. On compte, dans ces dernières régions, plusieurs centaines de petites montagnes coniques, ayant la forme des volcans modernes, et très-souvent munies de cratères plus ou moins parfaits à leur sommet. Ces cônes se composent d'ailleurs de lave, de sable et de cendres, semblables à ceux des volcans en activité. Des coulées de lave ont laissé parfois des traces visibles, depuis le sommet des cônes jusqu'au bas des vallées voisines, où elles ont obstrué les anciens canaux des rivières par des roches solides, de la même manière que certaines coulées de lave le font encore aujourd'hui en Islande ; dans ces cas, les rivères se sont frayé un étroit passage au-dessous de la lave ou bien sur les côtés. Quoique ces volcans français n'aient donné aucun signe d'activité depuis les époques historiques, leurs formes n'en sont pas moins souvent parfaites. Quelques-uns cependant ressemblent à de vrais squelettes de volcans ; les pluies et les torrents ont corrodé leurs flancs, emporté le sable et les scories, et n'ont laissé en place que les matières les plus dures et les plus solides. Par suite de cette érosion et des tremblements de terre qui ont mis à découvert leur structure interne, on aperçoit non-seulement des lits successifs et des masses de lave poreuse, de sable et de scories, mais encore des murs perpendiculaires, ou *dikes*,

comme on les appelle, de roches volcaniques qui ont pénétré au travers des autres roches. On observe de semblables dikes au Vésuve, à l'Etna et dans d'autres volcans actuellement en activité. Ils ont été formés par la pénétration de la matière fondue, poussée d'en haut ou d'en bas dans les fissures ouvertes ; ils traversent ordinairement des dépôts de *tuf volcanique*, substance produite par une sorte de pluie de cendres et de sable lancés de l'intérieur de la terre par l'explosion des gaz volcaniques.

Outre ces points particuliers de la France, on cite d'autres contrées comme le nord de l'Espagne, le sud de la Sicile, le territoire Toscan en Italie, les provinces basses du Rhin et la Hongrie, où l'on rencontre des volcans éteints qui conservent une forme conique et présentent des cratères avec coulées de lave.

On signale également en Angleterre, en Écosse, en Irlande et presque dans tous les pays de l'Europe, d'autres roches auxquelles on attribue une origine ignée, quoiqu'elles ne forment pas des monticules à cônes et cratères. Ainsi, il n'est pas douteux que la roche de Staffa et celle de la Chaussée des Géants, appelée basalte, ne soit volcanique, car elle ressemble, par sa structure en colonne et sa composition minéralogique, aux coulées de lave qui se sont échappées des cratères des volcans. Il existe aussi, dans diverses parties des îles de l'Angleterre, des roches basaltiques et ignées semblables, associées à des lits de *tuf* et qui forment des dikes pareils à ceux dont nous avons déjà parlé. La plupart des couches à travers lesquelles ces dikes ont percé sont parfois altérées au point de contact, comme si elles avaient été exposées à la chaleur d'une matière en fusion.

L'absence de cônes, de cratères et de coulées de lave superficielles, en Angleterre et dans plusieurs autres pays, doit être attribuée à ce que les éruptions ont été sous-marines ; il en a été d'elles comme d'un grand nombre de volcans qui, de nos jours, font éruption au fond de la mer. Mais nous traiterons plus amplement de cette matière dans les

chapitres sur les roches ignées, chapitres dans lesquels nous montrerons que si différentes formations sédimentaires qui contiennent chacune leurs fossiles caractéristiques, ont été déposées à des périodes successives, de même le sable et les scories volcaniques ont été lancés de l'intérieur de la terre et les laves se sont répandues à sa surface ou sur le lit de la mer, ou bien ont été injectées dans les fissures, à des époques également très-différentes ; de telle sorte que les roches ignées, aussi bien que les roches aqueuses, peuvent être classées par séries chronologiques, en monuments destinés à jeter un grand jour sur la succession d'événements relatifs à l'histoire de la terre.

Roches plutoniques (*Granit*, etc.). — Nous avons établi l'existence de deux ordres distincts de masses minérales : les masses aqueuses et les masses volcaniques ; mais si nous examinons une portion considérable de continent, si surtout cette portion renferme une chaîne de hautes montagnes, nous ne tarderons pas à découvrir deux autres groupes de roches très-distinctes de toutes celles que nous avons décrites, et que nous ne saurions assimiler ni aux dépôts qui s'accumulent aujourd'hui dans les lacs et dans les mers, ni à ceux qui doivent leur origine à une action volcanique. Les différents membres de ces deux divisions de roches se ressemblent en ce qu'ils sont cristallins au plus haut degré et dépourvus de débris organiques. On a donné le nom de *plutoniques* aux roches de la division qui comprend les granits et certains porphyres, roches qui, dans quelques-uns de leurs caractères, sont alliées de très-près aux formations volcaniques. Les membres de l'autre division sont stratifiés et souvent schisteux ; ils ont été nommés par quelques auteurs *schistes cristallins*. Dans ce groupe sont compris le gneiss, le schiste micacé (ou micaschiste), le schiste amphibolique, le marbre statuaire, les espèces les plus belles d'ardoises employées dans la toiture, et d'autres roches que nous décrirons par la suite.

Comme on ne peut observer aujourd'hui, dans ce qui se

forme à la surface de la terre, rien de strictement analogue à ces produits cristallins, on se demande naturellement d'après quelle base il faudra les ranger dans un système de classification fondé sur l'origine des roches. Pour répondre à cette question, je ne saurais donner en peu de mots l'exposé du long enchaînement de faits et de raisonnements au moyen desquels les géologues sont parvenus à saisir l'analogie des roches en question avec celles qui se forment aujourd'hui à la surface de la terre. Néanmoins j'essaierai d'en exposer brièvement la conclusion. Les diverses espèces de granit qui constituent la famille plutonique sont, comme on le suppose, d'origine ignée ou ignée-aqueuse ; mais on pense qu'elles ont été formées sous une grande pression, à une profondeur considérable dans la terre, ou, quelquefois peut-être, sous d'énormes masses d'eau qui les surmontaient. De même que la lave des volcans, elles ont dû être d'abord à l'état de fusion, se refroidir ensuite et cristalliser, mais avec une lenteur extrême, et dans des conditions très-différentes de celles qui produisent le refroidissement des corps en plein air. Elles diffèrent donc des roches volcaniques, non-seulement par leur texture plus cristalline, mais encore par l'absence de tufs et de brèches, sorte de produits des éruptions qui ont eu lieu à la surface de la terre, ou sous les mers, mais à une profondeur considérable. Elles s'en distinguent également par l'absence de pores ou cavités cellulaires auxquelles donnent ordinairement lieu l'expansion des gaz qui se trouvent renfermés dans la lave.

Quoique le granit ait souvent pénétré d'autres couches, il est cependant rare, si toutefois on l'a jamais observé, qu'il se trouve sur la surface de ces couches comme s'il y avait été déposé par les eaux. Mais, comme au contraire ce cas est constant pour les roches volcaniques, on a nommé celles-ci *couches sus-jacentes* (*overlying*, docteur Mac-Culloch). M. Necker a proposé de nommer *couches sous-jacentes* (*underlying*) les granits, afin de désigner la forme contraire, sous laquelle ils se présentent invariablement.

Roches métamorphiques ou cristallines stratifiées. — La quatrième et dernière grande division de roches comprend les roches cristallines, les schistes appelés gneiss, micaschistes, schistes argileux, schistes chloritiques, le marbre et autres, dont l'origine est plus douteuse que celle des trois autres divisions. Ces roches ne contiennent ni galets, ni sables, ni scories, ni fragments angulaires; elles ne contiennent non plus aucunes traces de corps organiques; elles sont souvent aussi cristallines que le granit et se divisent en lits qui ressemblent, par leur forme et par leur disposition, à ceux des formations sédimentaires; elles sont donc stratifiées. Les lits sont souvent composés de substances qui varient par leur couleur, leur composition et leur épaisseur, comme nous le remarquons précisément dans les dépôts fossilifères stratifiés. D'après la théorie de Hutton, que j'adopte comme la plus probable et que j'expliquerai plus amplement ailleurs, les matériaux dont ces couches ont été primitivement formées se sont déposés dans l'eau sous la forme ordinaire de sédiment, mais elles ont été altérées plus tard si profondément par la chaleur souterraine, qu'elles ont acquis une nouvelle texture. Dans de certains cas, des couches fossilifères sont devenues parfaitement cristallines, de terreuses qu'elles étaient, et cela jusqu'à une distance de plus de 400 mètres de leur contact avec le granit. Dans d'autres cas, des pierres calcaires noirâtres, remplies de coquilles et de coraux, ont été converties en marbre blanc statuaire, et des argiles dures, contenant des débris de végétaux et autres, ont été transformées en micaschistes et en schistes amphiboliques, et tous vestiges des corps organiques ont été détruits.

Quoique nous ignorions jusqu'à un certain point la nature précise de l'influence qui a produit ces changements, il n'en est pas moins évident qu'il existe une certaine analogie entre cette influence et celle qui naît de la chaleur et des gaz volcaniques. On peut donc, à juste titre, appeler cette action *plutonique*, car elle semble s'être développée dans les régions mêmes où les roches plutoniques ont pris naissance,

et dans des conditions identiques de pression et de profondeur. On se demande si c'est l'eau chaude ou la vapeur qui, pénétrant dans les masses stratifiées sous une forte pression, ont produit la texture cristalline; mais il est évident que l'influence plutonique s'est fait sentir souvent à travers les masses stratifiées de montagnes entières.

En me rendant à l'hypothèse dont j'ai parlé ci-dessus, j'ai proposé, dans la première édition des *Principes de géologie* (1833), le mot *métamorphique* pour désigner les couches altérées, expression dérivée de μετὰ, *meta* (*trans*), et μορφὴ, *morphe* (*forma*).

Nous avons donc à considérer, sous le rapport de leur origine, quatre grandes classes de roches : aqueuses, volcaniques, plutoniques et métamorphiques. Nous ferons voir, dans le cours de cet ouvrage, que les différents membres, dans chacune de ces quatre classes, datent de plusieurs époques successives. Toutes ont eu des produits contemporains, et toutes aussi se trouvent encore aujourd'hui en voie de formation sur une grande échelle. Il n'est pas vrai, comme on a pu le supposer autrefois, que tous les granits, ainsi que les couches cristallines ou métamorphiques, aient été produits les premiers, opinion qui avait fait donner à ces couches le nom de primitives; qu'ensuite se soient déposées sur ces couches les roches aqueuses et volcaniques, ce qui placerait ces dernières dans un rang secondaire d'ancienneté.

Cette idée erronée fut adoptée dans l'enfance de la science, alors que l'on considérait toutes les formations, stratifiées ou non stratifiées, terreuses ou cristallines, avec ou sans fossiles, comme étant d'origine aqueuse. On supposait, à cette époque, que la fondation devait être plus ancienne que la partie supérieure de l'édifice ; mais on découvrit plus tard que cette opinion n'était pas la déduction légitime des faits ; car les parties inférieures de la croûte terrestre ont été souvent modifiées et même entièrement changées sous l'influence des causes volcaniques, souterraines et autres, tandis que les formations supérieures n'ont été aucunement altérées. En

d'autres termes, les destructions et les rénovations successives ont donné naissance à de nouvelles roches en dessous, tandis que celles qui étaient au-dessus, qu'elles fussent cristallines ou fossilifères, sont restées dans leur ancienne condition. Même dans les villes telles que Venise et Amsterdam, on ne saurait admettre comme absolument vrai, que les parties supérieures de chaque édifice, construites en briques ou en marbre, soient plus modernes que les fondations sur lesquelles elles reposent; car celles-ci consistent souvent en pilotis qui peuvent avoir pourri et avoir été remplacés par d'autres, sans que le moindre dommage ait été causé aux bâtiments qu'ils soutiennent; pendant toute la durée des remplacements successifs des fondations, les parties supérieures des édifices ont pu n'exiger aucune réparation et avoir été constamment habitées. Il en est de même de la surface habitable du globe, relativement aux énormes masses de roches qui se trouvent immédiatement dessous; cette surface a pu rester la même pendant des siècles, tandis que les matériaux sous-jacents, à de grandes profondeurs, ont pu passer de l'état solide à un état fluide, puis se consolider de nouveau et finir par acquérir une texture nouvelle.

Toutes les roches cristallines peuvent, jusqu'à un certain point, être considérées comme appartenant à une même grande famille, qu'elles soient stratifiées ou non stratifiées, plutoniques ou métamorphiques; il conviendra donc souvent de les désigner toutes par un nom commun. Mais puisqu'il est maintenant démontré qu'elles sont d'époques différentes, et quelquefois même plus nouvelles que les couches appelées secondaires, les mots *primitif* et *primaire* qu'on leur donnait autrefois devront être abandonnés, car ils impliqueraient une contradiction manifeste. Il devient, par conséquent, indispensable de trouver un nom nouveau qui n'ait pas d'importance chronologique et qui, tout en étant applicable au granit comme au gneiss (aux roches plutoniques comme aux roches *altérées*), ait quelque rapport avec les caractères qui distinguent ces roches des produits volcaniques et des couches sédi-

mentaires *inaltérées*. J'ai proposé, dans les *Principes de géologie* (1re édit., vol. III), le mot *hypogène*, dérivé de ὑπὸ, *dessous*, et de γίνομαι, *être* ou *être né*. Ce mot signifie théoriquement que le granit, le gneiss et les autres formations cristallines sont semblables aux roches *bas-formées*, ou roches qui n'ont pas acquis à la surface de la terre leur forme et leur structure présentes. Ces roches occupent la place la plus inférieure dans l'ordre de la superposition.

Dans certaines régions comme les Alpes, où l'on peut citer quelques masses de granit et de gniess d'une date comparativement plus moderne que les autres, appartenant, par exemple, à la période que nous décrirons plus loin sous le nom de *tertiaire*, ces masses ne sont encore que des roches *sous-jacentes*. Elles ne reposent jamais sur des formations volcaniques ou trappéennes, ni sur des couches contenant des débris organiques. Elles sont donc *hypogènes*, car elles se trouvent *au-dessous* de toutes les autres.

D'après ce que nous venons de dire, le lecteur comprendra qu'on peut étudier chacune des quatre grandes classes de roches sous deux points de vue distincts : on peut d'abord les considérer simplement comme masses minérales, tirant leur origine de causes particulières, ayant une certaine composition, une forme et une position particulières dans la croûte terrestre, ou possédant d'autres caractères positifs et négatifs, tels que la présence ou l'absence de débris organiques. En second lieu, on peut voir dans les roches de chaque classe une grande série chronologique de monuments qui attestent une succession de faits dans l'histoire primitive du globe et des êtres vivants qui l'ont habité.

Je vais donc continuer à parler de chacune des familles de roches, d'abord sous le rapport de leurs caractères non chronologiques, et ensuite sous celui de leur succession aux diverses époques où elles ont été formées.

CHAPITRE II

ROCHES AQUEUSES. — LEUR COMPOSITION ET LEURS FORMES DE STRATIFICATION.

Composition minérale des couches. — Roches arénacées. — Argileuses. — Calcaires. — Gypse. — Formes de stratification. — Horizontalité primitive. — Amincissements. — Structure diagonale. — Ondulations.

Pour suivre l'ordre que nous nous sommes tracé dans le chapitre précédent, nous allons commencer par examiner les couches aqueuses ou sédimentaires, qui sont pour la plupart distinctement stratifiées, et qui contiennent des fossiles. Nous devrons d'abord les étudier sous le rapport de leur composition minérale, de leur apparence extérieure, de leur position, de leur forme primitive, des dépôts organiques qu'elles contiennent, et des autres caractères qui leur sont propres comme formations aqueuses : cet examen sera indépendant de leur âge ; nous les présenterons ensuite chronologiquement, c'est-à-dire dans leurs rapports avec les périodes géologiques successives où elles ont été formées.

J'ai déjà donné un aperçu des motifs qui portent à croire que les roches stratifiées et fossilifères ont été primitivement déposées sous l'eau ; mais, avant d'entrer dans un examen plus détaillé, il sera bon de dire quelques mots sur les matières ordinaires dont ces couches sont composées. On peut les partager en trois groupes : arénacées, argileuses et calcaires ; le sable, ou l'argile, ou le carbonate de chaux dominant dans tel ou tel de ces groupes. Les masses sableuses ou arénacées se composent principalement de grains siliceux ; les masses argileuses d'un mélange de matière siliceuse avec une certaine proportion, environ un quart, de terre alumineuse ; enfin les calcaires, autrement dits pierres à chaux, consistent en acide carbonique et en chaux.

Roches arénacées ou siliceuses. — Parlons d'abord de la division des sables. On rencontre souvent des lits dont les grains sont tous de silice ; la dénomination de silice s'applique à tous les minéraux purement siliceux, comme le quartz et le silex commun. Le quartz n'est que de la silice dans son plus grand état de pureté. Le silex ou pierre à feu contient un mélange d'alumine et d'oxyde de fer. Les grains siliceux qui composent le sable sont ordinairement arrondis comme par l'action de l'eau courante. Le grès est un assemblage de ces mêmes grains, souvent unis sans aucun ciment visible, mais plus communément liés par une faible quantité de matière calcaire ou siliceuse, par de l'oxyde de fer ou de l'argile.

Une roche siliceuse pure est facile à reconnaître, en ce qu'elle ne fait pas effervescence quand on verse à sa surface une goutte d'acide nitrique, ou d'acide sulfurique ou de tout autre acide, et en ce que ses grains ne peuvent être séparés ou broyés sans une certaine pression. Dans la nature, il existe toute espèce de gradation entre le sable parfaitement meuble et le grès le plus dur. Dans les *grès micacés* le mica se trouve en abondance, et les minces petites lames argentées qui divisent ce minéral sont souvent disposées en bandes parallèles aux plans de stratification, et donnent à la roche une texture schisteuse ou lamellaire.

Lorsque le grès est formé de gros grains, on l'appelle ordinairement *gravier* (*grit*). Si les grains sont arrondis et assez gros pour valoir le nom de galets, le grès devient un *conglomérat* ou *poudingue* qui peut être formé d'une ou de plusieurs espèces de roches. Un conglomérat, par conséquent, n'est qu'un gravier lié par un ciment.

Roches argileuses. — L'argile, strictement parlant, est un mélange d'environ un quart de silice avec une assez forte proportion d'alumine ou terre argileuse ; mais, dans le langage commun, toute terre qui possède assez de ductilité dans l'eau pour être modelée ou façonnée par le potier reçoit le nom d'*argile*. Les argiles varient beaucoup dans leur com-

position, et ne sont généralement que de la vase provenant de la décomposition ou de la trituration des roches. L'argile la plus pure que l'on rencontre dans la nature est celle qui sert à fabriquer la porcelaine, ou *kaolin ;* elle provient de la décomposition d'une roche composée de feldspath et de quartz ; ce dernier minéral reste presque toujours mêlé au kaolin (1). Le schiste a, comme l'argile, la propriété de devenir plastique dans l'eau; condensé par la pression, il a une consistance plus solide que l'argile ou que toute matière argileuse. Il se divise ordinairement en lames plus ou moins régulières.

L'un des caractères généraux de toutes les roches argileuses est de dégager une odeur terreuse particulière, quand on souffle dessus avec l'haleine ; c'est un signe de la présence de l'alumine, quoique cette odeur ne puisse être positivement attribuée à l'alumine pure, mais appartienne à la combinaison de cette substance avec l'oxyde de fer (2).

Roches calcaires. — Dans cette division, nous comprenons les roches qui, comme la craie, sont principalement composées de chaux et d'acide carbonique. Les coquilles et les coraux sont également formés des mêmes éléments, avec addition de matière animale. Pour obtenir de la chaux pure, il faut calciner les substances calcaires, c'est-à-dire les exposer à une chaleur suffisante pour en chasser l'acide carbonique et les autres matières volatiles. La craie blanche est souvent du carbonate de chaux pur. Cette roche, quoique ordinairement tendre et terreuse, est souvent assez solide pour être employée aux constructions; elle passe même à l'état de pierre *compacte*, c'est-à-dire de pierre dont les parties composantes sont si ténues, que l'on ne saurait, à l'œil, les distinguer les unes des autres.

(1) Le kaolin de Chine contient 71,15 parties de silice, 15,86 d'alumine, 1,92 de chaux et 6,73 d'eau (W. Philips, *Mineralogy*, p. 33) ; mais les autres argiles à porcelaine diffèrent matériellement de la précédente : celle du Cornouailles est composée, selon Boase, de parties égales de silice et d'alumine, avec 1 pour 100 de magnésie. (*Philos. Mag.*, vol. X, 1837.)

(2) Consulter la Minéralogie de W. Philips, art. *Alumine.*

Grand nombre de calcaires sont entièrement formés de fragments imperceptibles de coquilles et de coraux, ou bien de grains calcaires liés par un ciment. On pourrait appeler les calcaires de ce dernier genre *grès calcaires ;* mais cette dénomination convient mieux à une roche dont les grains sont en partie calcaires et en partie siliceux, ou à des grès quartzeux cimentés par le carbonate de chaux.

La variété de calcaire que l'on nomme *oolite* se compose de nombreux petits grains ovoïdes semblables à des œufs de poisson ; chacun de ces grains contient ordinairement, à son centre, un petit fragment de sable, espèce de noyau, autour duquel des croûtes concentriques de matière calcaire se sont accumulées.

Tout calcaire assez dur pour recevoir un beau poli est appelé *marbre.* Un grand nombre de marbres sont fossilifères ; mais le marbre statuaire, que l'on nomme aussi calcaire saccharoïde parce que sa structure ressemble à celle du sucre cristallisé, est dépourvu de fossiles, et passe, dans plusieurs cas, à la série métamorphique.

Le *calcaire siliceux* est un mélange intime de carbonate de chaux et de silice ; il est d'autant plus dur, qu'il contient une plus forte proportion de matière siliceuse.

On peut s'assurer de la présence du carbonate de chaux dans une roche, en versant à la surface une petite goutte d'acide sulfurique, ou nitrique, ou muriatique, ou même de vinaigre fort ; la chaux, ayant une plus grande affinité chimique pour chacun de ces acides que pour l'acide carbonique, s'en empare immédiatement pour former de nouveaux composés, tels que sulfate, ou nitrate, ou muriate de chaux. L'acide carbonique, une fois séparé de la chaux, s'échappe sous forme de gaz et fait effervescence par le dégagement de petites bulles au travers du liquide. Cette effervescence est vive ou faible, suivant le degré de pureté ou de mélange du calcaire, ou, pour m'exprimer en d'autres termes, suivant la quantité de matière étrangère qui se trouve mêlée au carbonate de chaux. Sans cet essai, l'œil le plus exercé ne pour-

rait pas toujours reconnaître la présence du carbonate de chaux dans les roches.

Les trois classes de roches ci-dessus mentionnées, siliceuses, argileuses ou calcaires, passent constamment de l'une à l'autre et se rencontrent rarement dans un état de séparation parfaite ou de forme pure. C'est par une exception à la règle générale, que l'on rencontre un calcaire aussi pur que la craie blanche ordinaire, ou une argile aussi exclusivement alumineuse que celle que l'on emploie dans le Cornouailles pour la fabrication de la porcelaine, ou du sable aussi complétement composé de grains siliceux que le sable blanc d'Alum-Bay, dans l'île de Wight, ou un grès aussi pur que le grès de Fontainebleau employé en France pour le pavage. Le plus souvent, nous trouvons le sable et l'argile, ou l'argile et la marne, mélangés dans la même masse. Lorsque le sable et l'argile dominent à la fois dans une roche, on appelle ce mélange *limon*. S'il y a beaucoup de matière calcaire dans l'argile, on l'appelle *marne*, mais malheureusement on a employé d'une manière si vague cette expression, qu'elle est devenue parfois très-ambiguë. On l'a appliquée aux substances dans lesquelles il n'y a pas de chaux, comme à ce limon rouge que l'on nomme marne rouge dans certaines parties de l'Angleterre. Les agriculteurs ont l'habitude de donner le nom de marne à tout sol qui, de même que la véritable marne, tombe en poussière quand on l'expose à l'air. De là vient la confusion dans l'emploi de ce mot pour désigner les sols formés de limon et faciles à travailler à la charrue, quoique dépourvus de chaux.

Le *schiste marneux* est à la marne ce que le schiste est à l'argile : c'est un schiste calcaire. Il est abondant dans certains pays, surtout dans les Alpes de la Suisse. Le calcaire argileux ou marneux est également fort commun.

Je ne sache pas qu'il existe dans la composition des couches sédimentaires d'autres roches assez importantes pour qu'il soit nécessaire de nous arrêter ici sur leurs caractères. Je dois cependant en mentionner encore deux : le calcaire

magnésien ou dolomie, et le gypse. Le *calcaire magnésien* est composé de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie ; la proportion de ce dernier élément est, dans quelques cas, de près de la moitié. Le calcaire magnésien fait une effervescence bien plus lente et plus faible dans les acides que le calcaire ordinaire. En Angleterre, il est généralement de couleur jaunâtre, mais il varie beaucoup quant à ses caractères minéralogiques : il passe successivement de l'état terreux à l'état compacte, en acquérant une grande dureté. La *dolomie*, si commune dans plusieurs parties de l'Allemagne et de la France, est aussi une variété de calcaire magnésien qui présente ordinairement une texture grenue.

Gypse. — Le gypse est une roche composée d'acide sulfurique, de chaux et d'eau. Il est habituellement tendre, d'un blanc jaunâtre et d'une texture semblable à celle du sucre ; mais il est aussi quelquefois entièrement composé de cristaux lenticulaires. Il est insoluble dans les acides et ne fait pas effervescence comme la craie ou la dolomie, car il ne contient pas de gaz acide carbonique ou air fixe, la chaux s'y trouvant déjà combinée avec l'acide sulfurique, pour lequel elle a encore plus d'affinité que pour aucun autre acide. Le gypse anhydre est une variété rare, dans laquelle l'eau n'entre pas comme partie constituante. La marne gypseuse est un mélange de gypse et de marne. L'albâtre est une variété de gypse, grenue ou compacte, qui se trouve en masses assez considérables dans la nature pour être employées dans la sculpture et dans l'architecture. L'albâtre se présente quelquefois sous la forme d'une substance pure, et blanche comme la neige, par exemple à Volterra, en Toscane. C'est à cet état qu'on le travaille en objets d'art à Florence et à Livourne. L'albâtre est moins dur que le marbre et plus facile à travailler.

Formes de stratification. — Une série de couches se compose d'une, de deux, et parfois d'un plus grand nombre des roches précédentes alternant par lits.

Ainsi, dans les districts houillers d'Angleterre, il n'est pas

rare de compter toute une série de lits de grès, les uns d'un grain plus fin, les autres d'un grain plus grossier, quelques-uns de couleur blanche, d'autres de couleur noirâtre, etc., et, sous ces lits, d'autres lits de schiste et de grès ou seulement de schiste qui se divisent en feuillets et contiennent de belles empreintes de plantes. Puis on découvre des couches de charbon pur ou impur, alternant avec d'autres schistes et d'autres grès, et, au-dessous du tout, se trouvent peut-être des lits calcaires remplis de coraux et de coquilles marines, chaque lit restant distinct l'un de l'autre par certains fossiles ou par l'abondance d'espèces particulières de coquilles ou de zoophytes.

Cette alternance de différentes espèces de roches produit la stratification la plus distincte ; dans une série de plusieurs centaines de couches, on rencontre souvent des lits de calcaire et de marne, de conglomérat et de grès, de sable et d'argile, qui reviennent plusieurs fois, dans un ordre presque régulier. Les causes qui peuvent avoir produit ces phénomènes sont diverses ; je les ai discutées à fond dans mon *Traité des changements modernes qui ont eu lieu sur la surface de la terre* (1). On voit, dans les chapitres qui ont trait à ce sujet, que les rivières qui se jettent dans les lacs et dans les mers sont chargées de sédiments variables en quantité, en composition, en couleur et en grain selon les saisons ; leurs eaux sont, en de certains temps, abondantes et rapides, en d'autres temps basses et tranquilles ; leurs divers tributaires inondent des contrées et des sols différents, et se chargent conséquemment de sédiments particuliers suivant les époques. J'ai également démontré que les flots de la mer et les courants creusent et minent les falaises pendant les orages de l'hiver, et entraînent au fond des eaux les matières qu'ils ont arrachées ; tandis que, pendant la saison tranquille, les mouvements de l'Océan ne précipitent que la boue la plus fine.

Il n'entre pas dans le but de cet ouvrage de donner une

(1) Consultez l'Index aux *Principes de géologie :* Stratification, Courants, Deltas, Eau, etc.

description détaillée de ces actions qui se sont répétées d'année en année et de siècle en siècle, comme elles le font encore aujourd'hui; mais je puis donner une explication de la manière dont se sont formés certains grès micacés, ceux, par exemple, dans lesquels on aperçoit d'innombrables et minces feuillets de mica qui séparent d'autres feuillets de sable fin quartzeux. J'ai observé cette même disposition de matières dans la vase récemment déposée dans la baie de la Roche-Saint-Bernard, en Bretagne, à l'embouchure de la Loire. Les roches environnantes sont de gneiss; elles alimentent la vase qui consiste en argile brune feuilletée, divisée par de petites veines de mica. On peut, par une expérience très-simple, se rendre compte de la séparation du mica dans ces cas et dans celui des grès. Si l'on jette dans le courant d'un ruisseau clair et limpide une poignée de sable quartzeux mélangé de mica, on voit aussitôt un départ des matières s'opérer par l'eau : les grains de quartz iront presque immédiatement au fond, tandis que les feuilles de mica mettront plus de temps pour y arriver et seront entraînées plus loin dans le courant. Au premier moment, l'eau sera trouble, mais bientôt les surfaces planes des feuilles de mica apparaîtront seules en reflétant une lumière argentée, puis descendront lentement pour aller former au fond un lit de lames micacées très-distinctes. Le mica est le plus lourd des deux minéraux, mais il reste plus longtemps suspendu sur le fluide, à cause de la plus grande étendue de surface qu'il présente. Il devient donc facile de reconnaître que là où la vase sera soumise aux mouvements d'une rivière ou de la marée, les feuilles de mica seront entraînées plus loin et ne se déposeront pas dans les mêmes endroits que les grains de quartz; et, puisque la force et la rapidité du courant varient de temps à autre, des couches de mica et de sable seront successivement apportées sur le même fond.

Horizontalité primitive. — On admet généralement que les surfaces supérieure et inférieure des couches, ou *plans de stratification*, sont parallèles. Quoique cette asser-

tion ne soit pas exactement vraie, les plans approchent toutefois du parallélisme, par la raison que le sédiment a ordinairement été déposé, à l'origine, en lits à peu près horizontaux. On ne saurait attribuer la cause de cette disposition à un nivellement ni à une horizontalité primitive du lit de la mer, car on sait que, dans les endroits où aucune matière n'a été récemment déposée, le fond de la mer est aussi inégal que la surface de la terre, et présente, comme elle, des montagnes, des vallées et des ravins. Cependant, si la mer venait à baisser, ou l'eau à se retirer près de l'embouchure d'une grande rivière où un delta aurait primitivement existé, nous verrions de vastes plaines de vase et de sable laissées à sec, et qui, à l'œil, apparaîtraient parfaitement unies, quoique, en réalité, elles inclineraient doucement de la terre vers la mer.

La tendance qu'ont les couches nouvellement formées à prendre une position horizontale vient principalement du mouvement de l'eau, qui oblige les particules de sable ou de boue à se précipiter et à se fixer dans des cavités où elles sont moins exposées à la violence des courants, que lorsqu'elles étaient sur les points élevés. La vélocité du courant et le mouvement des vagues diminuent d'intensité à mesure que l'on descend, et ils sont à leur minimum dans les endroits où l'eau a le plus de profondeur.

On peut observer quelquefois de bons exemples du phénomène que nous venons de signaler dans le voisinage d'un volcan où une section, soit naturelle, soit artificielle, a été produite; elle laisse apercevoir une succession de bandes diverses de sable et de cendres de différentes couleurs, qui sont tombées en pluie sur un sol inégal. Supposons que A, B (fig. 1) aient été deux élévations séparées par une vallée; ces inégalités primitives de la surface ont graduellement disparu sous des lits de sable et de cendres, *c*, *d*, *e;* la surface *e* est aujourd'hui parfaitement unie. Quoique les matières des premières bandes se soient disposées de manière à s'adapter

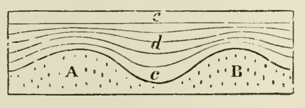


FIG. 1.

à peu près à la forme du sol AB, on voit cependant que chacune d'elles est plus épaisse vers le fond. Une grande quantité de particules ont été entraînées d'abord par leur propre poids au bas des pentes A et B, et d'autres ensuite ont été emportées par le vent à mesure qu'elles tombaient du sommet, et se sont logées dans les cavités; aussi ces cavités ont-elles été de plus en plus effacées à mesure que les couches se sont accumulées de *c* à *e*. On rendrait peut-être plus claire l'explication qui précède en supposant un certain nombre de tranchées parallèles, ouvertes d'abord dans une plaine de sable mouvant, telle que le désert d'Afrique, et dont le vent aurait ensuite fait disparaître jusqu'aux moindres vestiges, en rétablissant la surface aussi unie qu'elle l'était auparavant.

L'eau peut, dans son mouvement, exercer sur de semblables matières son action de nivellement plus facilement que l'air, car la plupart des pierres perdent dans l'eau plus d'un tiers du poids qu'elles avaient dans l'air; la pesanteur spécifique des roches étant en général comme 2 1 / 2, comparée à celle de l'eau prise pour unité. Mais la légèreté du sable ou de la vase est encore plus grande dans la mer, car la densité de l'eau salée excède celle de l'eau douce.

Quelque uniforme et horizontale que puisse être en général la surface des dépôts nouvellement formés, il existe pourtant encore bien des causes désorganisatrices : tels sont les remous et les courants, qui se meuvent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, et qui ne laissent pas que de faire naître de fréquentes irrégularités. On peut quelquefois suivre



FIG. 2. — Coupe de couches de grès, de grès grossier et de conglomérat.

un lit de calcaire, de schiste ou de grès sur une distance continue de quelques centaines de mètres, mais on finit presque toujours par trouver que chaque couche en particu-

lier s'amincit de plus en plus, et permet à d'autres couches qui étaient primitivement au-dessus et au-dessous de son niveau de se rencontrer et de se joindre. Si les matières qui les composent sont dures, comme dans les grès et les conglomérats, les mêmes lits ne peuvent continuer sur une longueur de quelques mètres sans qu'ils varient dans leurs dimensions, et souvent ils se terminent brusquement (fig. 2).

Stratification diagonale ou croisée. — Il est aussi un autre phénomène qui se renouvelle fréquemment : on rencontre des séries de couches plus considérables, composées chacune en particulier d'un certain nombre de feuillets (fig. 3) dirigés obliquement aux plans généraux de la stratification.

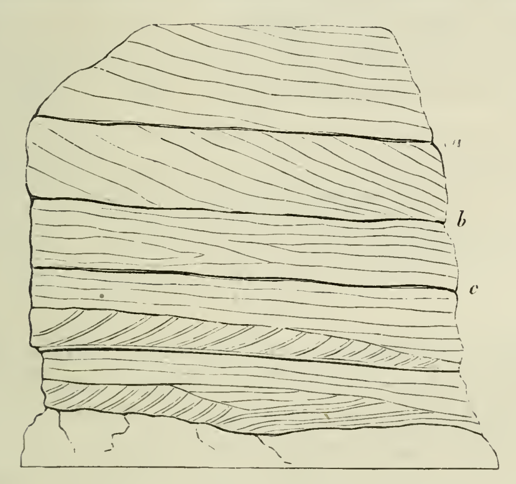


FIG. 3. — Coupe de sable à Sandy Hill, près de Biggleswade, Bedfordshire. Hauteur : 6 mètres. (Formation de grès vert.)

On a donné à cette disposition diagonale le nom de *stratification fausse* ou *croisée*. Ainsi, dans la coupe (fig. 3), on voit sept ou huit grandes couches de sable meuble, jaune et brun ; les lignes *a*, *b*, *c*, désignent quelques-uns des plans principaux de stratification qui sont presque horizontaux. La plus grande partie des lames subordonnées à ces couches ne sont pas conformes à leurs plans, mais ont souvent une inclinaison accentuée, et celle-ci est quelquefois dirigée vers les points

opposés de la boussole. Lorsque le sable est meuble et incohérent, comme dans le cas que nous représentons ici, la déviation du parallélisme des lames obliques ne saurait être expliquée par aucune sorte d'arrangement nouveau des particules, opéré pendant la consolidation de la roche. Comment donc ces sortes d'irrégularités peuvent-elles être attribuées à la disposition primitive? Il faut supposer qu'au fond de la mer, aussi bien que dans le lit des rivières, les mouvements des vagues, des courants et des remous font que souvent le limon, le sable et le gravier, s'accumulent en monticules, sur des points isolés, au lieu de se répandre uniformément sur une large surface. Quelquefois, après que des bancs ont été ainsi formés, des courants se frayent un passage au travers de leur masse, de la même manière qu'une rivière creuse son lit. Admettons que le banc A (fig. 4) ait eu

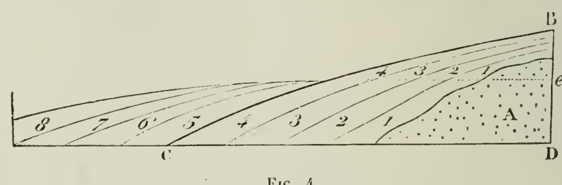


Fig. 4.

une origine semblable, qu'il présente l'un de ses côtés abrupt, et que, pendant une période de tranquillité des eaux, la couche de sédiment n° 1 se soit déposée à sa surface en se conformant à peu près à son relief; les autres couches 2, 3, 4, pourront ensuite se déposer successivement sur les précé-

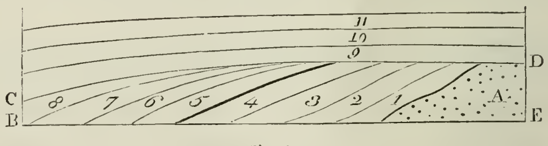


Fig. 5.

dentes, de manière à produire le banc BCD. Si le courant vient alors à augmenter de vitesse, il emportera la portion supérieure de cette masse, suivant la ligne ponctuée *e*, et en

déposera les matériaux plus loin sous la forme des couches 5, 6, 7, 8. On aura donc un banc BCDE (fig. 5), dont la surface sera presque unie et sur lequel pourront, en dernier lieu, s'accumuler les couches presque horizontales 9, 10, 11.

Nous avons fait voir, par la figure 3, que les feuillets transgressifs des couches successives peuvent quelquefois présenter entre eux une inclinaison opposée. On observe de très-bons exemples de cette structure dans quelques falaises composées de sable meuble, sur la côte de Suffolk. J'ai représenté une portion de l'une de ces falaises (fig. 6) : les feuillets, composés de grains quartzeux, ont à peine 4 à 5 millimètres d'épaisseur. Cette disposition doit être attribuée aux changements de direction de la marée et des courants qui sont survenus sur un même point.

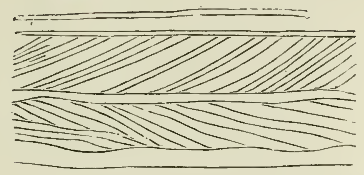


FIG. 6. — Rocher entre Mismer et Dunwich.

La description que nous avons donnée ci-dessus de la disposition oblique des petits lits dans chacune des couches est, dans de certains cas, applicable sur une plus grande échelle à des masses d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres et d'une étendue de plusieurs kilomètres. On peut en voir un bel exemple à la base des Alpes maritimes, près de Nice. Les montagnes s'y terminent d'une manière si abrupte dans la mer, que souvent la sonde porte jusqu'à une profondeur de plusieurs centaines de brasses, à la simple distance d'un jet de pierre du rivage, et quelquefois jusqu'à une profondeur de 900 mètres, à une distance de 800 mètres. Mais, sur certains points, entre le rivage et la montagne, on rencontre des couches de sable, de marne ou de conglomérat, comme on le voit dans la figure 7, qui représente une vaste succession de lits obliques de gravier et de sable, tracée de la mer au Monte Calvo, distance de plus de 14 kilomètres en droite ligne. Ces lits, d'une uniformité remarquable, plongent toujours vers le sud ou vers la Méditerranée,

sous un angle d'environ 25°. Ils sont coupés par des précipices verticaux de 70 à 180 mètres de haut, qui entourent la

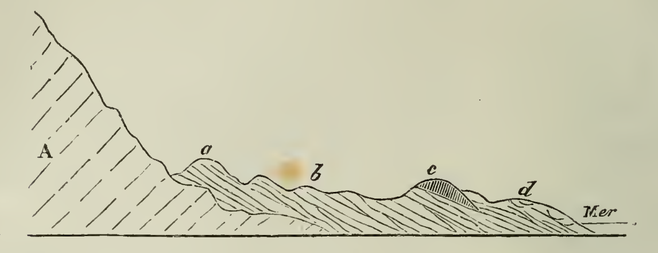


FIG. 7. — Coupe de Monte Calvo à la mer par la vallée de Magnan, près de Nice.
A. Dolomie et grès (formation de grès vert ?).
a, b, d. Couches de gravier et de sable.
c. Marne fine et sable de Sainte-Madeleine, avec coquilles marines.

vallée au travers de laquelle coule la rivière Magnan. Bien que d'une manière générale les couches paraissent parallèles et uniformes, cependant, examinées plus attentivement, elles sont en réalité sous forme de coins et s'amincissent à tel point, lorsqu'on les suit sur une longueur de plusieurs centaines de mètres, qu'on peut supposer qu'elles ont été primitivement déposées sur un bord escarpé où se déchargeait une rivière ou un torrent alpin, dans une mer profonde et tranquille, formant ainsi un delta qui avançait graduellement de la base du Monte Calvo jusqu'à une distance de 14 kilomètres du rivage primitif. Lorsque plus tard eut lieu l'exhaussement de cette partie des Alpes et du lit de la mer jusqu'à une hauteur de 200 mètres, la côte dut prendre sa configuration actuelle, le delta dut émerger, et un lit profond y fut creusé par une rivière.

Il est notoire pour tout le monde que les torrents et les ruisseaux qui, aujourd'hui, descendent des pentes des Alpes vers la mer, entraînent avec eux annuellement, lorsque les neiges fondent, une énorme quantité de galets et de sable; à mesure qu'ils baissent ensuite, ils transportent un limon fin, et, pendant l'été, ces torrents et ruisseaux sont presque entièrement ou même entièrement à sec : on peut dès lors

admettre, sans crainte de se tromper, que des dépôts semblables à ceux de la vallée de Magnan, consistant en gravier grossier et alternant avec des sédiments fins, sont encore en voie de formation sur plusieurs points, tels qu'à l'embouchure du Var. Ils doivent avancer sur la Méditerranée sous forme de bas-fonds se terminant par un talus escarpé; car tel est le mode primitif d'accumulation de toutes les matières grossières rassemblées dans l'eau profonde, surtout si elles sont composées en grande partie de cailloux roulés qui ne sauraient être transportés à des distances indéfinies par des courants de moyenne vitesse. Par défaut d'attention des faits, on a exagéré de beaucoup la profondeur supposée de l'ancien Océan; on ne saurait douter, par exemple, que les couches *a* (fig. 7) ou les autres plus rapprochées du Monte Calvo ne soient plus anciennes que celles qui sont indiquées par la lettre *b*, et que celles-ci, à leur tour, n'aient été formées avant *c*; mais, sur aucun point, on ne trouve une épaisseur de sable ou de gravier s'élevant même à 300 mètres; il se peut qu'il y ait des épaisseurs plus considérables, néanmoins elles ne dépasseront probablement nulle part 900 ou 1200 mètres. Toutefois, quand on songe que toutes les couches furent jadis horizontales, et que leur inclinaison actuelle doit être attribuée à des mouvements subséquents, on est forcé de conclure qu'en cet endroit la mer a été profonde de plusieurs kilomètres et qu'elle a été comblée par des lits alternatifs de limon et de galets déposés les uns sur les autres.

Dans la localité dont il est ici question, et qui est située à quelques kilomètres à l'ouest de Nice, il y a différents points géologiques à considérer, mais dont les détails ne sauraient être donnés ici; tous conduisent à l'opinion que, pendant la période de formation du dépôt de Magnan, la forme et la configuration des pentes des Alpes, ainsi que celles de la plage elle-même, ressemblaient beaucoup à la forme et à la configuration que l'on remarque encore aujourd'hui sur plusieurs points dans le voisinage. La date comparativement récente

des lits *a*, *b*, *c*, *d*, est démontrée par ce fait que, dans les lits de marne argileuse, intercalés entre les lits à cailloux roulés, il existe des coquilles fossiles dont la moitié appartient à des espèces vivant actuellement dans la Méditerranée.

Ondulations. — Les inégalités ondulatoires, si fréquentes à la surface des grès des différentes époques (fig. 8), et

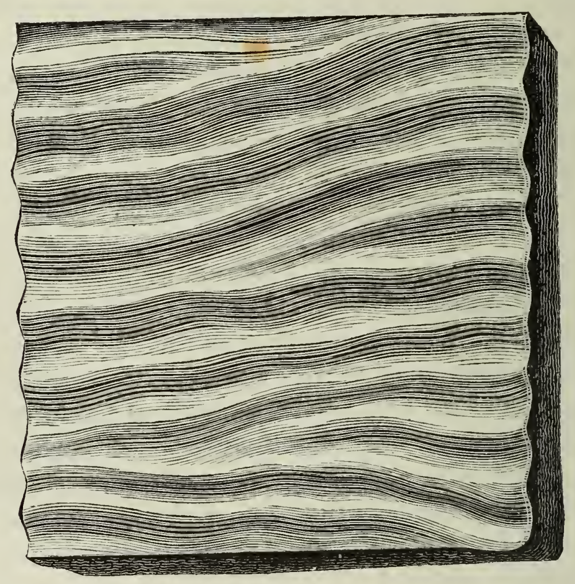


Fig. 8. — Plaque ondulée de grès (nouveau grès rouge) du Cheshire.

que l'on observe si souvent, à la marée, sur les bords de la mer, paraissent devoir leur origine à un mode particulier de transport des matières sur le fond de l'eau, transport exactement semblable à celui par lequel nous avons expliqué ci-dessus les feuillets inclinés.

Les ondulations ne sont pas exclusivement limitées à la plage exposée à la marée ; il s'en produit également sur les sables qui sont submergés d'une manière permanente. On observe aussi quelquefois des rides et dépressions ondulatoires à la surface de la neige ou du sable qui ont été balayés par le vent. J'ai été témoin moi-même de la manière dont le

mouvement de l'air peut produire de semblables effets : c'était à la marée basse, sur une plage vaste et unie, aux environs de Calais. Des nuages d'un sable blanc et fin, chassés par le vent des dunes voisines, venaient couvrir le rivage et blanchir une surface unie et obscure de limon sableux, et cette nouvelle enveloppe de sable était magnifiquement ondulée. Je nivelai toutes les petites élévations et dépressions de cette surface sur une étendue de plusieurs mètres carrés ; mais je les vis se renouveler complétement en moins de dix minutes ; la direction générale des saillies était toujours perpendiculaire à celle du vent. Le rétablissement des inégalités commençait par l'apparition, çà et là, de petits amas détachés de sable, qui bientôt s'allongeaient, se joignaient les uns aux autres, et finissaient par former de longues saillies sinueuses avec dépressions correspondantes. Dans chaque saillie, l'un des côtés était légèrement incliné et l'autre escarpé. Le côté opposé au vent était dans ce dernier cas, *bc*, *de ;* le côté tourné vers le vent présentait une pente très-douce, comme *ab*, *cd* (fig. 9). Lorsqu'une bouffée de vent venait à

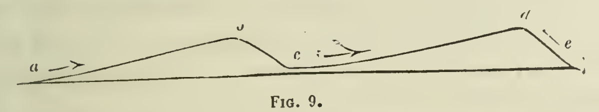


Fig. 9.

souffler avec une force suffisante pour transporter sur la surface ondulée un nuage de sable, on voyait toutes les saillies se mouvoir à la fois, chacune empiétant sur le sillon suivant, et, dans l'espace de quelques minutes, remplissant la place que ce sillon avait occupée. La progression avait lieu par le transport continu de grains de sable sur les pentes *ab* et *cd*. Grand nombre de ces grains, lorsqu'ils arrivaient en *b* et en *d,* tombaient par les escarpements *bc* et *de*, et se trouvaient dès lors à l'abri du vent ; ils restaient donc stationnaires, s'arrêtant chacun, suivant leur forme ou leur poids, sur tel ou tel point de la pente, et quelques-uns seulement roulant jusqu'au fond. On voyait ainsi distinctement chaque saillie se mouvoir lentement chaque fois que la force du vent aug-

mentait. Quelquefois une portion de saillie, avançant plus rapidement que le reste, atteignait une autre saillie immédiatement antérieure, et se confondait avec elle, donnant ainsi naissance à ces bifurcations et branches qui sont si communes, et dont on voit deux exemples dans la plaque représentée figure 8. On peut observer des configurations de ce genre sur les grès de toutes les époques, et, de même que les ondulations qui se forment de nos jours sur les bords de la mer, les ondulations produites aux anciens temps peuvent présenter deux systèmes d'inégalités, interférant l'un avec l'autre : l'un, plus ancien et à demi effacé, et un autre plus nouveau, dans lequel les saillies et dépressions sont plus distinctes et dirigées différemment. Ce croisement des deux systèmes d'ondulations résulte d'un changement de vent et d'une direction nouvelle imprimée à la vague.

Les ondulations indiquent ordinairement un bord de mer ou de rivière, profond seulement de 1 à 3 mètres, car l'agitation produite par les ondes, même pendant la tempête, ne s'étend qu'à une très-petite profondeur. Cette règle, toutefois, souffre quelques exceptions, et des ondulations ont été observées récemment à une profondeur de 18 à 20 mètres. On a aussi constaté que des courants ou d'importantes masses d'eau pouvaient, dans leur mouvement, agir sur la vase et le sable à la profondeur de 90 ou même de 140 mètres (1). On peut toutefois, dans la plupart des cas, distinguer une ondulation de rivage d'une ondulation de courant, par les fréquents changements que la première présente dans la direction. Dans une plaque de grès, qui n'a pas plus de 4 centimètres d'épaisseur, on observe souvent les élévations ou dépressions d'une ancienne ondulation sur plusieurs feuillets successifs, dirigées vers différents points de l'horizon.

(1) *Edinb. new philos. Journ.*, vol. XXXI; et Darwin, *Volc. Islands*, p. 134.

CHAPITRE III

DISTRIBUTION DES FOSSILES DANS LES COUCHES. — FOSSILES D'EAU DOUCE ET FOSSILES MARINS.

Succession des dépôts indiquée par les fossiles. — Calcaires formés de coraux et de coquilles. — Preuves de l'accroissement graduel des couches fournies par les fossiles. — Serpule adhérant à un Spatangue. — Bois percés par la Térédine. — Tripoli et résinite formés d'Infusoires. — Craie résultant principalement des corps organiques. — Distinction entre les formations d'eau douce et les formations marines. — Genres de coquilles d'eau douce et de coquilles terrestres. — Manière de reconnaître les testacés marins. — Gyrogonite et Chara. — Poissons d'eau douce. — Alternance des dépôts marins et des dépôts d'eau douce. — Lym-Fiord.

Nous avons examiné, dans le chapitre précédent, les différentes formes de stratification déterminées par la disposition des matières inorganiques ; nous devons maintenant tourner notre attention vers le mode de distribution des débris organiques dans les dépôts stratifiés. Il nous serait souvent impossible de découvrir aucune trace de stratification ou de dépôts successifs, si certains genres de fossiles ne se rencontraient çà et là à diverses profondeurs. A tel niveau, par exemple, on trouvera spécialement une ou plusieurs espèces de coquilles univalves ; à tel autre niveau, des coquilles bivalves ; sur un autre point, des coraux ; enfin, dans certaines formations, on observera des feuillets de matières végétales, provenant habituellement de plantes terrestres et séparant les couches.

Un commençant aura de la peine à s'expliquer comment des montagnes de plusieurs milliers de mètres d'élévation se trouvent remplies de fossiles depuis la base jusqu'au sommet, mais la difficulté disparaîtra lorsqu'il réfléchira sur l'origine de la stratification, telle que nous l'avons expliquée dans le chapitre précédent et lorsqu'il aura admis un espace de temps suffisant pour l'accumulation des sédiments. L'é-

lève ne doit jamais perdre de vue ce fait, que, pendant la durée de l'opération du dépôt, chaque couche a été successivement la couche supérieure, et couverte, sans intermédiaire, par l'eau dans laquelle vivaient des animaux aquatiques. Chaque couche, aussi éloignée qu'on la suppose aujourd'hui de la surface, a donc formé jadis le fond de la mer à l'état de galets, de sable meuble ou de limon, dans lesquels des coquilles et d'autres corps organisés ont pu facilement être enfouis.

En tenant compte de la nature des débris organiques, on parvient souvent à reconnaître si le dépôt a été lent ou rapide, s'il s'est fait dans une mer profonde ou dans une mer basse, près de la côte ou loin des terres, et si l'eau était salée, saumâtre, ou douce. Certains calcaires sont composés presque entièrement de coraux, et, dans plusieurs cas, il est évident que la position actuelle de chaque zoophyte fossile a été déterminée par son mode de croissance originelle. L'axe du corail, par exemple, si le développement de ce zoophyte a dû avoir lieu dans le sens vertical, se dirige encore aujourd'hui perpendiculairement au plan de stratification ; si la couche est actuellement horizontale, les têtes sphériques de certaines espèces seront tournées vers le haut et leurs points d'attache vers le bas. Cette disposition se répète quelquefois à travers une longue série de couches. D'après ce que nous connaissons du mode de croissance de zoophytes semblables dans les récifs actuels, il nous est permis de penser que le développement des zoophytes anciens s'est fait d'une manière extrêmement lente, et que quelques-uns ont dû vivre des siècles, comme les arbres des forêts, avant d'atteindre une taille considérable. Or, pendant ce temps, l'eau a dû rester claire et transparente, car les coraux n'auraient pu vivre dans une eau trouble.

De même, lorsque nous voyons des milliers de coquilles à l'état parfait de développement, répandues à travers une longue série de couches, nous ne saurions douter qu'il n'ait fallu un temps considérable pour la multiplication de leurs

générations successives; la lenteur de l'accumulation devient plus évidente encore par la présence si souvent constatée de corps fossiles qui sont restés, pendant un certain temps après leur mort, exposés sur le fond de l'Océan avant d'être enveloppés par les sédiments. Rien n'est plus commun, par exemple, que de rencontrer, dans l'argile, des huîtres fossiles avec des Serpules, Balanes (glands de mer), coraux, ou autres corps, adhérant à l'intérieur des valves, fait qui démontre avec certitude que le mollusque n'a point été enfoui dans la vase argileuse dès le moment de sa mort. Un certain temps a dû s'écouler, pendant lequel il a continué d'être entouré d'eau claire ; et, durant ce temps, les animaux qui y adhèrent aujourd'hui se sont développés, en passant de l'état d'embryon à l'état parfait d'accroissement.

Des coquilles adhérentes seulement à l'extérieur, comme les Serpules *a* (fig. 10), ont pu croître sur une huître ou sur le test de tout autre mollusque, pendant que l'animal vivait encore ; mais celles qui adhèrent à l'intérieur des valves n'ont pu se fixer à cette place qu'après la mort de l'habitant de la coquille qui leur a servi de support. Ainsi, dans la figure 10, deux Serpules ont crû à l'intérieur; l'une d'elles, exactement à la place où était fixé le muscle adducteur de la Gryphée (sorte d'huître).

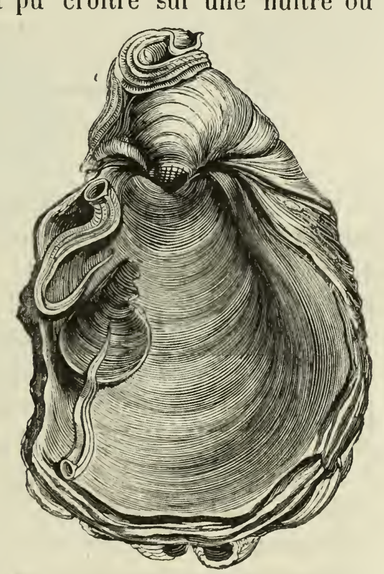


FIG. 10.— Gryphée fossile, couverte extérieurement et intérieurement de Serpules fossiles.

Certaines coquilles fossiles, celles même qui adhèrent simplement à la surface extérieure d'autres coquilles, confirment pleinement la conclusion à laquelle nous sommes déjà arrivé ci-dessus, savoir : qu'un intervalle de temps a

dû s'écouler entre la mort de l'animal et l'enfouissement, dans la vase ou le sable, de son enveloppe à laquelle adhèrent les coquilles. Les Oursins de mer (*Echini*), si nombreux dans la craie, en fournissent un excellent exemple. On sait qu'à l'état vivant, ces animaux sont invariablement couverts de suçoirs ou tubes gélatineux nommés *ambulacres*, qui leur servent d'organes de locomotion. Ils sont, en outre, armés de piquants qui supportent des rangées de tubercules, mais on n'aperçoit ces derniers organes qu'après la mort de l'animal, lorsque les piquants ont été détachés. Dans la figure 12,



Fig. 11. — Serpule fixée à un Spatangue fossile de la craie.

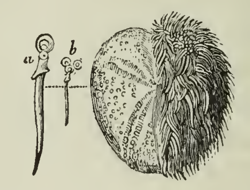


Fig. 12. — Spatangue récent, avec les piquants enlevés sur l'une des moitiés.
b. Piquants et tubercules, grandeur naturelle.
a. Les mêmes, grossis.

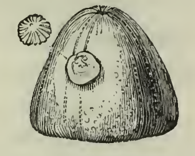


Fig. 13. — *a. Echinus* de la craie, avec la valve inférieure d'une Cranie qui lui est adhérente.
b. Valve supérieure de la Cranie, détachée.

on a représenté une espèce vivante de *Spatangus*, commune sur nos côtes, avec l'une des moitiés de sa coquille dépouillée des piquants. Dans la figure 11, un fossile du même genre, provenant de la craie blanche d'Angleterre, montre la nature de l'enveloppe chez les individus de cette famille, lorsque sa surface est également dépouillée des piquants. La Serpule, à l'état complet de développement, que l'on voit aujourd'hui adhérer à cette enveloppe, n'a donc pu commencer à croître avant que le Spatangue ait été mort, et que ses piquants aient été entraînés.

Mais on peut pénétrer plus loin encore dans la série des événements que nous révèle ici la nature d'un simple fossile. Par exemple, on rencontre souvent, dans la craie, des Oursins (fig. 13) à la surface desquels adhère la valve inférieure d'une Cranie, genre de mollusque bivalve. La valve supé-

rieure *b* manque presque constamment, bien qu'on la trouve quelquefois à un état parfait de conservation, à quelque distance de là, dans la craie blanche. Dans ce cas, il est évident que l'Oursin a d'abord pris son développement, qu'il est mort ensuite, et a perdu ses piquants, qui ont été entraînés. C'est alors seulement que la jeune Cranie a commencé à adhérer à l'enveloppe nue de l'Oursin, a grandi, est morte à son tour, et que sa valve supérieure s'est séparée de la valve inférieure; le tout avant que l'*Echinus* ait été enfoui dans la vase crayeuse.

Nous jugeons utile de mentionner encore un exemple de la manière dont de simples fossiles peuvent quelquefois jeter du jour sur un ancien état de choses, et expliquer des événements qui se sont passés soit sur le lit de l'Océan, soit sur les terres voisines. A différentes profondeurs de l'argile sur laquelle Londres est bâtie, on rencontre de nombreux

FIG. 14.

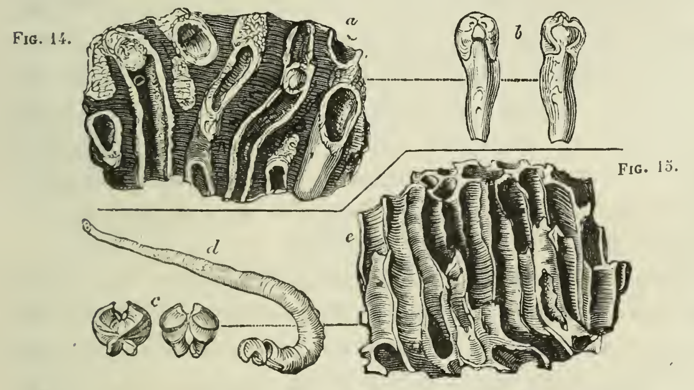


FIG. 15.

FIG. 14 et 15. — Bois fossile et bois récent percés par les mollusques perforants.

FIG. 14. — *a.* Bois fossile de l'argile de Londres, troué par la Térédine.
b. Coquille et tube de *Teredina personata;* face ventrale à droite, face dorsale à gauche.

FIG. 15. — *e.* Bois récent troué par le Taret.
d. Coquille et tube du *Teredo* (Taret) *navalis.*
c. Face antérieure et face postérieure des valves du même mollusque, détachées du tube.

fragments de bois qui ont été percés par les Tarets. On extrait quelquefois de cette formation des troncs et des rameaux entiers, de plusieurs décimètres de long, entièrement troués

par ces animaux perforants dont les tubes et les coquilles subsistent encore dans les cavités cylindriques qu'ils ont produites. La figure 15, *e*, représente un fragment de bois récent, percé par le *Teredo navalis*, ou Taret commun, qui détruit les pilotis et les vaisseaux. Lorsqu'on extrait du bois le tube cylindrique *d*, on voit, à son extrémité la plus grosse, une coquille composée de deux pièces *c*. La fig. 14, *a*, représente aussi un fragment de bois fossile qui a été perforé par un animal de genre voisin, mais éteint, appelé *Teredina* par Lamarck. Le tube calcaire de ce mollusque était comme soudé aux valves de la coquille *b*, qui, par conséquent, ne pouvait point se détacher du tube comme les valves du Taret récent. Le bois de cet échantillon fossile est aujourd'hui converti en une pierre mêlée d'argile et de chaux; mais il a dû surnager et flotter à l'époque où les Térédines l'avaient choisi pour habitation, et perforaient sa masse dans tous les sens. Néanmoins, avant que la jeune colonie se fût fixée sur le tronc flottant, il avait fallu que ce tronc eût été d'abord entraîné à la mer après avoir été arraché du sol par une inondation, ou lancé à l'eau par le vent; et si l'on continue ainsi, de conjecture en conjecture, notre esprit se porte naturellement vers une période antérieure, pendant laquelle l'arbre a dû croître, vivre plusieurs années sur un continent dont le sol et le climat lui étaient favorables.

Nous avons remarqué qu'il existe à l'intérieur des continents, à différentes profondeurs de la terre, et à de grandes hauteurs au-dessus du niveau de la mer, des roches presque entièrement formées de débris de zoophytes et de testacés. On peut comparer ces roches aux bancs d'huîtres actuels et aux récifs de coraux, et conclure que leur accroissement a dû aussi être extrêmement long. Mais il existe de plus, dans l'écorce terrestre, une variété de dépôt pierreux provenant sans aucun doute de plantes et d'animaux, et dont l'origine organique n'avait cependant pas été soupçonnée jusqu'à ces dernières années, même par les naturalistes. La découverte qui en a été faite récemment par le Professeur

Ehrenberg (de Berlin) excita donc une grande surprise parmi les savants : il remarqua qu'une certaine espèce de pierre siliceuse, que l'on nomme *tripoli*, était entièrement composée de millions de débris de corps organiques qu'il rapporta à des infusoires microscopiques, mais que d'autres naturalistes ont supposé être des plantes. Ces corps abondent dans les lacs d'eau douce et les étangs, en Angleterre et dans d'autres contrées, et ils ont été appelés *Diatomacées* par les auteurs qui leur attribuent une origine végétale. Le tripoli est depuis longtemps bien connu dans les arts pour son emploi, sous forme de poudre, pour le polissage des pierres et des métaux. On le tire, entre autres localités, de Bilin en Bohême, où une seule couche, qui s'étend sur une large surface, à plus de 4 mètres d'épaisseur. Lorsqu'on examine cette pierre sous un microscope très-grossissant, on voit qu'elle consiste en petites pièces siliceuses ou frustules de Diatomacées ci-dessus mentionnées; ces pièces ne sont unies par aucun ciment visible. Il est difficile de se faire une idée de leur extrême petitesse ; mais Ehrenberg estime qu'il y a 41,000 millions d'individus de *Gaillonella distans* (fig. 17) par pouce cube anglais de tripoli (16 cent. cubes, 386) ce qui représente

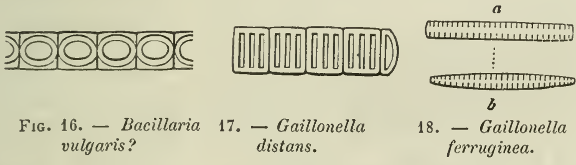


FIG. 16. — *Bacillaria vulgaris?* 17. — *Gaillonella distans.* 18. — *Gaillonella ferruginea.*

Ces figures sont grossies de près de 300 fois, excepté la figure inférieure de *G. ferruginea* (fig. 18, *a*), qui est grossie de 2,000 fois.

environ 220 grains (1); c'est-à-dire qu'il y a à peu près 187 millions d'individus par chaque grain. A chaque frottement, par conséquent, opéré avec cette poussière, nous réduisons en atomes plusieurs millions, dix millions peut-être, de ces corps organiques.

(1) Le grain anglais vaut 6,479 centigrammes.

Ces débris de Diatomacées sont de silice pure; leurs formes sont variables, mais elles sont tout à fait tranchées et elles se séparent facilement en genres et en espèces distincts. Ainsi, quant à la famille des Bacillariées (fig. 16), les individus que l'on rencontre à l'état fossile dans le tripoli présentent les mêmes divisions et les mêmes lignes transversales que les espèces vivantes du même groupe. Avec les débris de Bacillariées, on rencontre aussi quelquefois des spicules siliceux ou supports intérieurs d'éponges d'eau douce, *Spongilla* de Lamarck (voyez ces corps en forme d'aiguilles, fig. 20). Ces fourreaux siliceux et ces spicules, quoique très-durs, sont très-fragiles, se brisent comme du verre, et sont très-propres, lorsqu'on les a réduits en poudre fine, à polir la surface des métaux.

FIG. 20. FIG. 19.

Morceau de silex résinoïde de la grande couche de Bilin.
FIG. 19. — Grandeur naturelle.
FIG. 20. — La même pièce grossie, montrant les articulations circulaires d'une espèce de *Gaillonella* et des spicules de Spongille.

Outre le tripoli, qui est composé exclusivement des fossiles décrits ci-dessus, on rencontre, à la partie supérieure de la grande couche de Bilin, une autre pierre plus pesante et plus compacte, une sorte de demi-opale [résinite, ou silex résinoïde des auteurs français (1)], remplie d'innombrables débris de Diatomacées, et de spicules de Spongilles, liés ensemble par un ciment siliceux. On suppose

(1) Note du traducteur.

que ce sont les parties siliceuses des Diatomacées les plus délicates qui ont été dissoutes par l'eau, et ont ainsi donné naissance à cette sorte d'opale dans laquelle les fossiles les plus durables sont conservés comme les insectes dans l'ambre. Cette opinion se trouve confirmée par ce fait, que les corps organiques diminuent en nombre et perdent l'aspérité de leurs contours à mesure que la quantité de ciment opalin augmente.

Dans le tripoli de Bohême, comme dans celui de Planitz en Saxe, les espèces de Diatomacées (ou Infusoires, comme les appelle Ehrenberg) sont d'eau douce; mais, dans le tripoli d'autres contrées, dans celui de l'Ile de France, par exemple, les espèces sont marines, et toutes appartiennent aux formations de la période *tertiaire*, dont nous parlerons plus loin.

M. Ehrenberg a aussi démontré que la substance bien connue sous le nom de *minerai de fer des marais*, et que l'on rencontre souvent dans les mousses des tourbières, se compose d'innombrables fils articulés, d'une couleur jaune d'ocre, formés en partie de silice et en partie d'oxyde de fer. Ces fils sont les fourreaux d'un très-petit corps microscopique appelé *Gaillonella ferruginea* (fig. 18).

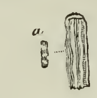
Il est évident qu'un temps considérable a dû s'écouler pendant l'accumulation des couches à la formation desquelles ont contribué les débris de ces générations sans nombre de Diatomacées; et cette découverte nous conduit naturellement à présumer que d'autres dépôts, que l'on était encore habitué à considérer comme composés de matériaux non organiques, proviennent de la dépouille de corps organiques microscopiques. On avait souvent soupçonné que la craie blanche était dans ce dernier cas, car on voyait cette roche abonder en divers fossiles marins, tels que : échinides, testacés, bryozoaires, coraux, éponges, crustacés et poissons. M. Lonsdale, en examinant, au mois d'octobre 1835, dans le muséum de la Société géologique de Londres, des échantillons de craie blanche provenant de différentes localités d'Angleterre, découvrit qu'en pulvérisant la matière dans l'eau, les parties qui ne paraissaient être à l'œil que de petits

grains blancs étaient, en réalité, des fossiles bien conservés. Il obtint plus d'un millier de ces fossiles, par 373 grammes de craie ; quelques-uns étaient des fragments ténus de bryozoaires et de corallines, d'autres étaient des foraminifères entiers et des cythéridées. Les figures suivantes donneront une idée des magnifiques formes de quelques-uns de ces corps. Les figures *a* (fig. 21, 22, 23, 24) représentent leur grandeur naturelle; mais si ténues qu'elles paraissent, les plus petites d'entre elles, telles que *a* (fig. 24), sont gigan-

Cythéridées et Foraminifères de la craie.



FIG. 21. — *Cythere*, Müll. (*Cytherina*, Lam).



22. — Portion de *Nodosaria*.



23. — *Cristellaria rotulata*.



24. — *Rosalina*.

tesques en comparaison des fourreaux de Diatomacées dont il a été question ci-dessus. On a, de plus, découvert dernièrement que les chambres qui divisent ces foraminifères sont aujourd'hui souvent remplies de milliers d'autres corps organiques parfaitement conservés, du genre de ceux qui abondent dans chaque petit grain de craie, et qui sont surtout apparents dans la couche blanche du silex, où on les voit accompagnés d'innombrables spicules aciculaires d'éponges. Lorsqu'on réfléchit sur ces découvertes, on est naturellement conduit à supposer que, de même que le ciment amorphe du résinite de Bilin dérive de la décomposition de matières animales et végétales, de même un grand nombre des silex de la craie, dans lesquels on ne saurait reconnaître aucun vestige de structure organique, peuvent cependant avoir été formés, en partie, d'animalcules microscopiques.

« La poussière que nous foulons aux pieds fut jadis vivante ! » (BYRON.)

Cette exclamation du poëte, quelque énergique qu'elle soit, ne nous donne cependant qu'une bien faible idée des véritables merveilles de la nature ! Car, à chaque pas, nous acquérons la preuve que la poussière calcaire ou siliceuse

dont les collines sont composées, non-seulement a jadis été vivante, mais encore que chaque particule, quelque invisible qu'elle soit à l'œil nu, conserve encore la structure organique qui, à des époques infiniment éloignées, lui fut imprimée par la puissance de la vie.

Fossiles d'eau douce et fossiles marins. — Les couches présentent toutes la même forme, qu'elles aient été déposées dans l'eau salée ou qu'elles aient été formées dans l'eau douce ; mais les fossiles qu'elles renferment sont très-différents, car les animaux aquatiques qui fréquentent les lacs et les rivières sont distincts de ceux qui habitent la mer. Dans la partie septentrionale de l'île de Wight, on voit, sur plus de 15 mètres d'élévation, des formations de marne et de calcaire dans lesquelles presque toutes les coquilles, sinon toutes, sont d'espèces éteintes. Cependant il est facile de reconnaître leur origine d'eau douce, car elles appartiennent aux genres qui abondent aujourd'hui dans les étangs et les lacs de nos contrées ou des latitudes plus chaudes.

Dans plusieurs localités de France, par exemple en Auvergne, on observe des couches de calcaire, de marne et de grès, épaisses de quelques centaines de mètres, qui contiennent exclusivement des coquilles d'eau douce et des coquilles terrestres, en même temps que des débris de quadrupèdes terrestres.

Le nombre de coquilles terrestres que l'on voit répandues çà et là à travers ces dépôts d'eau douce est vraiment prodigieux, et l'on cite des districts en Allemagne où les roches contiennent rarement d'autres fossiles que des coquilles d'escargot (*hélices*) : tel est le calcaire de la rive gauche du Rhin, entre Mayence et Worms, à Oppenheim, Findheim, Budenheim et autres endroits. Pour se rendre compte de ce phénomène, le géologue n'a qu'à examiner, à basses eaux, les petits deltas des torrents qui entrent dans les lacs de la Suisse, par exemple la plaine nouvellement formée à l'endroit où la Kander se jette dans le lac de Thoune. Il y verra du sable et du limon parsemés d'innombrables coquilles

terrestres mortes, et qui ont été apportées des vallées des Alpes, le printemps précédent, lors de la fonte des neiges. De même, s'il examine les sables des bords du Rhin, dans la partie inférieure du cours de ce fleuve, il comptera un nombre infini de coquilles terrestres, mêlées à d'autres espèces des lacs, des étangs, des marais. Ces coquilles auront été apportées par les eaux, les unes des plaines alluviales du grand fleuve et de ses tributaires, quelques-unes des régions montagneuses, d'autres des contrées basses.

Bien que les formations d'eau douce présentent souvent une grande épaisseur, elles sont cependant très-limitées en surface, comparativement aux dépôts marins ; car les lacs et les estuaires n'offrent que de bien petites dimensions en comparaison des mers.

On peut reconnaître une formation d'eau douce à l'absence de divers fossiles que l'on rencontre presque invariablement dans les couches marines. Par exemple, on n'observe pas d'oursins ni de coraux, on ne trouve pas non plus de coquilles cloisonnées, telles que le nautile, ni des foraminifères microscopiques dans les dépôts lacustres ou fluviatiles. Mais c'est principalement par la forme des mollusques, que l'on parvient à distinguer ce genre de formation de celles qui sont accumulées au fond de la mer. Dans un

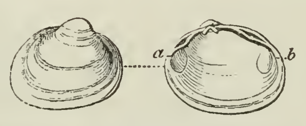


Fig. 25. — *Cyclas obovata*, fossile. (Hants.)

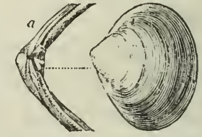
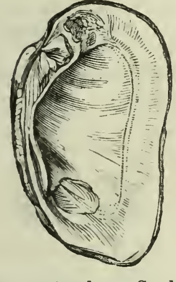


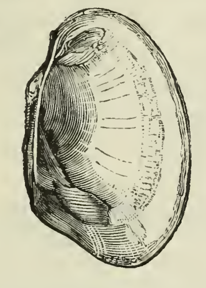
Fig. 26. — *Cyrena fluminalis*, fossile. (Grays, Essex.)

dépôt d'eau douce, le nombre de coquilles est souvent aussi grand, s'il n'est pas plus grand, que dans une couche marine ; mais ces coquilles varient peu quant à l'espèce et quant au genre. On pouvait s'y attendre d'après ce fait, que les genres et les espèces d'eau douce et terrestres récentes sont en petit nombre comparativement aux espèces marines. Ainsi, les genres des vrais mollusques, suivant le système de Wood-

ward, en excluant les espèces éteintes et celles qui n'ont pas de coquilles, s'élèveraient à environ quatre cent quarante-six, sur lesquels les genres terrestres et les genres d'eau douce ne formeraient guère plus d'un cinquième (1).

Presque toutes les coquilles bivalves, telles que celles des mollusques acéphales, sont marines ; environ seize genres seulement, sur cent quarante, sont d'eau douce. Parmi ces derniers, les quatre plus communs, soit à l'état vivant, soit à l'état





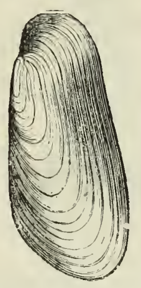


FIG. 27. — *Anodonta Cordierii*, fossile. (Paris.) 28. — *Anodonta latimarginatus*, récent. (Bahia.) 29. — *Unio littoralis*, récent. (Auvergne.)

fossile, sont les *Cyclas*, *Cyrena*, *Unio* et *Anodonta*. Les deux premiers et les deux derniers genres présentent des affinités telles qu'ils passent presque insensiblement l'un à l'autre.

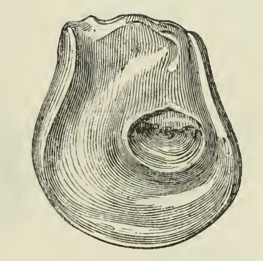


FIG. 30. — *Griphæa incurva*, Sow. (*G. arcuata*, Lam.), valve supérieure. (Lias.)

Lamarck a divisé les mollusques bivalves en *Dimyaires*, qui ont deux larges empreintes musculaires sur chaque valve, comme *a*, *b*, dans le *Cyclas* (fig. 25), et *Monomyaires*, tels que l'Huître et le Pétoncle, dans lesquels il n'existe qu'une seule de ces empreintes (fig. 30). Or, comme aucune de ces dernières coquilles, ou bivalves unimusculaires, n'est d'eau douce (2), on pourra conclure qu'un dépôt dans lequel on en découvrira des traces sera marin.

(1) Voyez le *Manuel des Mollusques*, de Woodward, 1856.

(2) La *Mulleria* d'eau douce qui, jeune, a deux empreintes musculaires, n'en a qu'une à l'état adulte, et forme ainsi une exception à la règle.

Les coquilles univalves les plus caractéristiques des dépôts d'eau douce sont : *Planorbis*, *Limnæa* et *Paludina* (voyez les

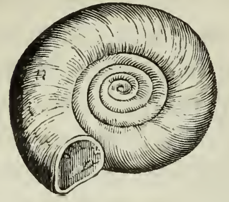
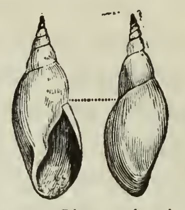
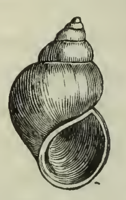




FIG. 31. — *Planorbis euomphalus*, fossile. (Ile de Wight.) 32. — *Limnæa longiscata*, fossile. (Hants.) 33. — *Paludina lenta*, fossile. (Hants.)

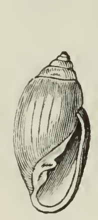
fig.). On y ajoute parfois les *Physa*, *Succinea*, *Ancylus*,






FIG. 34. — *Succinea amphibia*, fossile. (Loess, Rhin.) 35. *Ancylus elegans*, fossile. (Hants.) 36. *Valvata*. fossile. (Grays, Essex.) 37. *Physa hypnorum*, récente.

Valvata, *Melanopsis*, *Melania*, *Potamides* et *Neritina* (voy. les fig.).



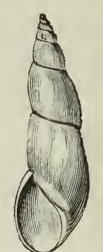
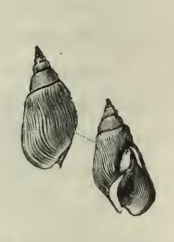



FIG. 38. — *Auricula*, récente. (Ava.) 39. — *Melania inquinata*. (Bassin de Paris.) 40. — *Physa columnaris*. (Bassin de Paris.) 41. — *Melanopsis buccinoïdea*, récente. (Asie.)

Quelques naturalistes comprennent la *Neritina* (fig. 42)

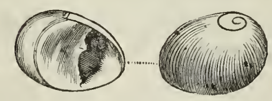



FIG. 42. — *Neritina globulus*. (Bassin de Paris.) 43. — *Nerita granulosa*. (Bassin de Paris.)

et la *Nerita* marine (fig. 43) dans le même genre, par la

raison qu'il est rarement possible de distinguer ces deux coquilles l'une de l'autre par de bons caractères génériques. Mais, règle générale, les espèces fluviatiles sont plus petites, plus lisses et plus globulaires que les espèces marines, et ne présentent jamais, comme les *Neritæ*, le bord interne de la lèvre extérieure denté ou crénelé (fig. 43).

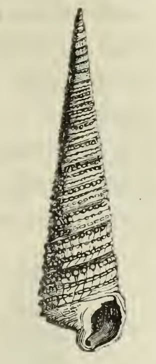


FIG. 44. — *Potamides cinctus*, Sow. (Bassin de Paris.)

Le *Potamides* habite les embouchures des rivières dans les latitudes chaudes, et se distingue du Cerithium marin par ses opercules orbiculaires et multispirales. Le genre *Auricula* (fig. 38) est amphibie, habitant les marais, spécialement dans le voisinage de la mer.

Les coquilles terrestres sont toutes univalves. Les genres les plus abondants qu'elles fournissent soit à l'état vivant, soit à l'état fossile, sont les *Helix* (fig. 45), *Cyclostoma* (fig. 46), *Pupa*

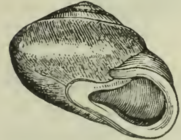
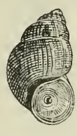


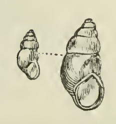
FIG. 45. — *Helix turonensis*. (Faluns, Touraine.)



46. *Cyclostoma elegans*. (Loess.)



47. *Pupa tridens*. (Loess.) 48. *Clausilia bidens*. (Loess.)



49. *Bulimus lubricus*. (Loess, Rhin.)

(fig. 47), *Clausilia* (fig. 48), *Bulimus* (fig. 49), *Glandina* et *Achatina*.

L'*Ampullaria* (fig. 50) est un autre genre de coquille qui, dans les régions chaudes, habite les rivières et les étangs. Différentes espèces fossiles ont été rapportées à ce genre, mais on les a rencontrées principalement dans les formations marines, et quelques conchyliologistes soupçonnent qu'elles appartiennent à la *Natica*, ou à d'autres genres marins.

FIG. 50. — *Ampullaria glauca*. (Jumna.)

Toutes les coquilles univalves, d'espèces terrestres ou d'eau douce, à l'exception de la *Melanopsis* (fig. 41) et de l'*Achatina*, qui est légèrement dentée, ont la bouche entière : cette circonstance peut servir de règle pour distinguer une couche d'eau douce d'une couche marine ; car, si, dans un dépôt, quelques coquilles se rencontrent dont la bouche ne soit pas entière, on peut présumer que ce dépôt est marin.

L'ouverture est dite entière, comme dans les *Ampullaria* et les coquilles terrestres (fig. 45-49), lorsque le contour n'est point interrompu par des dentelures ou crans, tels que les

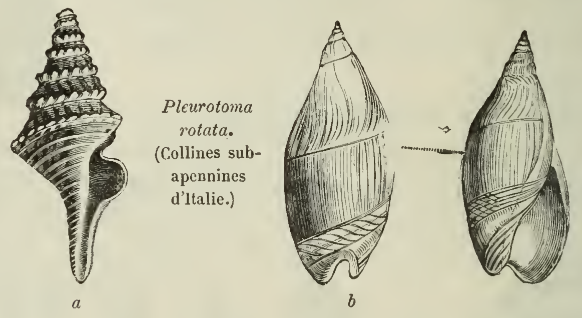


FIG. 51. FIG. 52. — *Ancillaria subulata.* (Argile de Barton.) Eocène.

montre en *b* l'*Ancillaria* (fig. 52), ou bien ne se prolonge point en un canal, comme le présente en *a* le *Pleurotoma* (fig. 51).

La bouche, chez un grand nombre de ces univalves marines, offre des entailles ou canaux, et presque toutes les espèces sont carnivores ; tandis que la plupart des testacés qui ont la bouche entière se nourrissent de plantes, que leurs espèces soient marines, d'eau douce ou terrestres.

Un genre, toutefois, fournit une exception accidentelle à l'une des règles ci-dessus établies. Le *Cerithium* (fig. 44), bien que pourvu d'un canal court, comprend quelques espèces qui habitent l'eau salée, d'autres qui vivent dans les eaux saumâtres, quelques autres qui recherchent les eaux douces ; toutes, dit-on, se nourrissent de plantes.

Parmi les fossiles qui sont très-communs dans les dépôts d'eau douce, on cite les *Cypris*, crustacés très-petits, pourvus d'une coquille qui ressemble beaucoup à celle des mollusques bivalves (1). Plusieurs petites espèces vivantes de ce genre habitent les lacs et les étangs en Angleterre; mais leurs coquilles ne sont pas, si on les considère isolément, caractéristiques de l'origine d'un dépôt d'eau douce, car la majorité des espèces d'un autre genre du même ordre, qui ont avec elles de l'affinité, les *Cytherina* de Lamarck (voyez ci-dessus, fig. 21, page 44), habitent l'eau salée, et bien que l'animal soit un peu différent, sa coquille se distingue difficilement de celle des *Cypris*.

Les réceptacles de la graine (sporanges) et les tiges du *Chara*, genre de plantes aquatiques, se trouvent très-fréquemment dans les couches d'eau douce. Avant que leur véritable nature fût connue, ces réceptacles étaient désignés



FIG. 53. — *Chara medicaginula*, fossile. Eocène supérieur. (Ile de Wight.)
a. Réceptacle des graines (sporange), grossi 20 fois.
b. Tige grossie.

FIG. 54. — *Chara elastica*, récent. (Italie.
a. Réceptacle des graines, sessile, entre les divisions des feuilles de la plante femelle.
b. Coupe transversale d'une branche, grossie, avec cinq tubes à graines, vus de bas en haut.

sous le nom de *gyrogonites*, et on les prenait pour des coquilles de foraminifères (voyez fig. 53, *a*).

Les *Charas* habitent le fond des lacs et des étangs, et se plaisent surtout dans les eaux chargées de carbonate de chaux. Les réceptacles sont couverts d'un tégument coriace, capable

(1) Pour les figures des espèces fossiles de Purbeck, voyez plus loin, chap. XX.

de résister à la décomposition; circonstance à laquelle il faut attribuer leur abondance à l'état fossile. La figure 54 représente une tige de l'une des nombreuses et nouvelles espèces découvertes par le professeur Amici dans les lacs de l'Italie du Nord. Les réceptacles, dans cette plante, sont plus globulaires que dans les *Charas* d'Angleterre, et, par conséquent, ressemblent beaucoup plus, pour la forme, aux espèces fossiles éteintes, trouvées en Angleterre, en France et dans d'autres contrées. On rencontre les tiges, de même que les réceptacles de ces plantes, dans les marnes coquillières récentes et dans les formations d'eau douce anciennes. Ces tiges se composent généralement d'un large tube entouré de plusieurs autres tubes plus petits, le tout divisé de distance en distance par des cloisons transversales ou joints (voyez *b*, fig. 53).

Il n'est pas rare d'observer, dans les couches qui contiennent des coquilles d'eau douce, des empreintes de feuilles et des branches d'arbres, en même temps que des bandes de matières végétales; on y trouve aussi parfois des dents et des ossements de quadrupèdes terrestres, d'espèces aujourd'hui inconnues. J'ai traité au long, dans les *Principes de géologie*, de la manière dont ces débris sont accidentellement entraînés par les rivières dans les lacs, surtout pendant les inondations (1).

Les débris de poissons servent quelquefois à établir l'origine d'eau douce des couches. Certains genres, tels que la carpe, la perche, le brochet, la loche (*Cyprinus*, *Perca*, *Esox*, *Cobitis*), et aussi le *Lebias*, sont particuliers à l'eau douce. D'autres genres fournissent à la fois des espèces d'eau douce et des espèces marines : tels sont les *Cottus*, *Mugil* et *Anguilla*. Les autres genres sont communs aux rivières et à la mer, comme le saumon, ou sont exclusivement caractéristiques des eaux salées. Toutefois, ces dernières observations sur les poissons fossiles sont applicables seulement aux dépôts

(1) Voyez, à l'Index des *Principes*, Fossilisation.

les plus modernes ou tertiaires; car, dans les roches plus anciennes, les formes s'éloignent tellement de celles que présentent les poissons d'aujourd'hui, qu'il est très-difficile, au moins dans l'état actuel de la science, de tirer des ichthyolithes les moindres renseignements sur l'élément dans lequel les couches ont été déposées.

L'alternance des formations marines et d'eau douce, sur une grande ou sur une petite échelle, est un fait bien constaté en géologie. Lorsqu'elle se présente sur une petite échelle, on l'attribue à l'occupation alternative de certains espaces par une eau de rivière et par la mer ; car, dans la saison des inondations, la rivière empiète sur l'Océan, en adoucit les eaux sur une très-grande étendue, et dépose son sédiment ; après quoi, l'eau salée reprend son domaine, et, revenant sur la place qu'elle occupait primitivement, la recouvre de sable, de limon et de coquilles marines.

A l'embouchure de plusieurs rivières, comme le Nil et le Mississipi, il existe des lagunes qui sont séparées de la mer par des barres de sable, et que remplissent alternativement l'eau salée et l'eau douce. Ces lagunes, pendant des mois, des années, des siècles même, communiquent exclusivement avec la rivière, jusqu'à ce qu'une brèche venant à se produire dans l'un des bancs de sable, elles sont envahies par la mer, et restent, pendant de longues périodes, couvertes d'eau salée.

Le Lym-Fiord, dans le Jutland, nous offre un excellent exemple d'un changement de ce genre. Pendant le cours des derniers mille ans, l'extrémité sud de cette embouchure, qui a 190 kilomètres environ de longueur, y compris ses embranchements, a été quatre fois alternativement remplie d'eau douce et d'eau salée; chaque fois, un banc de sable s'est produit entre elle et l'Océan, et chaque fois il a été détruit. La dernière irruption d'eau salée eut lieu en 1824 ; la mer du Nord y pénétra, et toutes les coquilles d'eau douce, les poissons et les plantes périrent; depuis cette époque jusqu'aujourd'hui, le *Fucus vesiculosus*, les huîtres et autres

mollusques marins ont succédé aux *Cyclas*, *Limnœa*, *Paludina* et *Chara* (1).

Toutefois ces changements dans le Lym-Fiord et ceux que nous avons mentionnés ci-dessus comme s'opérant dans les embouchures des grandes rivières, ne sauraient rendre compte que de quelques cas particuliers de dépôts marins d'une étendue limitée, reposant sur des couches d'eau douce. Quand nous trouvons, dans le sud-est de l'Angleterre, une série considérable de couches d'eau douce de 300 mètres d'épaisseur, reposant sur des formations marines et recouvertes par d'autres roches, telles que les roches crétacées, qui ont plus de 300 mètres d'épaisseur elles-mêmes et offrent une origine marine si tranchée, nous éprouvons la nécessité de chercher, à ces phénomènes, d'autres explications (2).

(1) Voyez, à l'Index des *Principes*, LYM-FIORD.

(2) Voyez chap. XVIII, sur le Weald.

CHAPITRE IV

CONSOLIDATION DES COUCHES ET PÉTRIFICATION DES FOSSILES.

Dépôts chimiques et dépôts mécaniques. — Cimentation des particules. — Endurcissement par l'effet de l'exposition à l'air. — Nodules concrétionnés. — Effets de consolidation par la pression. — Minéralisation des débris organiques. — Moules et empreintes ; comment ils se forment. — Bois fossile. — Expériences de Göppert. — Précipitation de la matière pierreuse, plus rapide par la putréfaction. — Source de chaux en dissolution. — Silice dérivée de la décomposition du feldspath. — Preuves de la pétrification de certains fossiles, aussitôt après leur enfouissement, et de celle d'autres fossiles, après une putréfaction déjà avancée.

J'ai parlé, dans les chapitres précédents, des caractères des formations sédimentaires, quant à la distribution des fossiles et au dépôt des matières inorganiques ; il me reste à traiter de la consolidation des roches stratifiées et de la pétrification des débris organiques qu'on y rencontre.

Dépôts chimiques et mécaniques. — Les géologues ont établi une distinction entre les dépôts chimiques et les dépôts d'origine mécanique. Par ces derniers, ils ont voulu désigner les lits de vase, de sable ou de cailloux, produits par l'action de l'eau courante, ainsi que les accumulations de pierres et de scories lancées des volcans, et tombées, de leur propre poids, sur la place qu'elles occupent aujourd'hui. Quant à la matière qui forme un dépôt chimique, elle n'a pas été mécaniquement suspendue dans l'eau ; elle y est restée à l'état de dissolution jusqu'au moment où elle s'est séparée du dissolvant par une action chimique. C'est ainsi que le carbonate de chaux s'est précipité sur le fond des lacs et des mers, sous une forme solide, comme on le voit encore aujourd'hui dans plusieurs parties de l'Italie, sur les points où des sources minérales existent, et où se dépose le calcaire que l'on nomme travertin. Dans ces sources, la

chaux est ordinairement tenue en dissolution par un excès d'acide carbonique, ou par la chaleur, si c'est une source chaude, jusqu'au moment où l'eau, sortant de la terre, se refroidit et perd une partie de son acide. La matière calcaire tombe alors sous forme solide, encroûte des coquilles, des fragments de bois, des feuilles, et les lie ensemble (1).

Dans les bancs de coraux, de grandes masses de calcaire se forment par l'accumulation des squelettes pierreux des zoophytes, et ces derniers, de même que les coquilles, sont réunis par le carbonate de chaux probablement fourni par la décomposition des coraux morts. La plupart des coquilles, celles même d'animaux qui vivent encore aujourd'hui sur ces bancs, sont communément recouvertes d'une croûte dure de matière calcaire (2).

Si du sable et des cailloux sont entraînés à la mer par une rivière, et s'ils sont immédiatement liés ensemble par le carbonate de chaux, on peut assigner au dépôt une origine mixte, en partie chimique et en partie mécanique.

Les remarques que nous avons faites, dans le chapitre II, sur l'horizontalité originelle des couches, peuvent strictement s'appliquer aux dépôts mécaniques, et en partie seulement à ceux d'une nature mixte. Les dépôts qui sont purement chimiques peuvent se former sur une pente très-escarpée, incruster même les parois verticales d'une fissure, et présenter partout la même épaisseur; mais ils ont tous une très-petite étendue, et sont, pour la plupart, limités à des veines.

Cimentation des particules. — C'est surtout dans les roches calcaires que la solidification a lieu au moment du dépôt; dans beaucoup d'autres, la cimentation ne s'opère que longtemps après leur formation. Quelquefois, là où des eaux de sources ferrugineuses ou calcaires ont traversé un lit de sable ou de gravier, on reconnaît que le fer ou le carbonate de chaux a pénétré dans les interstices qui se trouvaient entre les grains ou les cailloux, et que le tout, lié

(1) Voyez, à l'Index des *Principes*, SOURCES CALCAIRES.

(2) *Ibid.*, TRAVERTIN, BANCS DE CORAUX, etc.

ensemble, ne forme plus qu'une masse solide ; tandis que, sur d'autres points, la même sorte de lit est restée meuble et incohérente.

On remarque une cimentation de ce genre dans une certaine roche à Kelloway, dans le Wiltsshire. Un banc particulier de sable appartenant au groupe que les géologues nomment *Oolite*, après avoir présenté, sur une longue étendue, des grains incohérents et une masse friable, devient pierreux près de Kelloway. Dans ce district, on peut recueillir de nombreuses coquilles fossiles décomposées qui n'ont, pour la plupart, laissé que leurs empreintes. La matière calcaire qui en est résultée a évidemment servi, dans une époque ancienne, à cimenter des grains de sable siliceux et à produire un grès solide. Si l'on plonge dans une dissolution d'acide muriatique ou de tout autre acide, des fragments des divers grès argileux qui ont conservé les moules des coquilles, le ciment de chaux provenant des coquilles se dissout, et les grès se changent immédiatement en sable commun et en vase.

Les traces d'empreintes et de moules sont souvent très-faibles. Dans quelques sables meubles de date récente, certaines coquilles sont arrivées à un tel degré de décomposition, qu'elles tombent en poussière dès qu'on les touche. Il est clair que l'eau, en filtrant à travers ces couches, a dépouillé les coquilles de la matière calcaire qui les enveloppait, et qu'à défaut de circonstances particulières qui aient permis au carbonate de chaux de se déposer de nouveau, les grains de sable n'ayant pu se cimenter, il n'est plus resté aucunes traces reconnaissables des corps organiques enfouis. On peut expliquer de cette manière l'absence de débris organiques dans certaines roches aqueuses; mais on peut supposer aussi que, dans plusieurs de ces roches, il n'y a jamais eu de fossiles; car il existe de très-vastes étendues sur le fond des mers actuelles, même de moyenne profondeur, d'où la drague ne rapporte aucuns fragments de coquilles, de coraux, ni d'aucune espèce de créatures vivantes. D'un autre

côté, il y a des profondeurs où l'on approche du zéro de la vie animale : par exemple, dans la Méditerranée, à environ 230 brasses, d'après les recherches du Professeur E. Forbes. Dans la mer Égée, à une profondeur de plus de 230 brasses, il existe un dépôt de limon jaunâtre, d'un caractère très-uniforme, encore en voie de formation, et qui est entièrement dépourvu de débris organiques (1). Des découvertes récentes ont montré que des êtres organisés habitent d'autres parties de la même mer à des profondeurs beaucoup plus considérables.

Nous verrons tout à l'heure, en traitant de la pétrification des corps fossiles, comment il se fait que la silice et le carbonate de chaux soient répandus d'une manière si générale, quoique en petite quantité, dans les eaux qui imbibent la croûte de la terre; pour le moment, je ferai seulement remarquer que des eaux de cette nature se trouvent dans le même cas que les eaux thermales : elles passent des parties plus chaudes aux parties plus froides de l'intérieur de la terre, et toutes les fois que la température du dissolvant s'abaisse, la matière minérale tend à s'en séparer et à se déposer sous forme solide. C'est ainsi qu'un ciment pierreux vient souvent s'ajouter à du sable, à des cailloux, ou à tout autre mélange de fragments. Dans certains conglomérats, tels que le poudingue d'Hertfordshire (dépôt Éocène Inférieur), des galets de silex et des grains de sable sont si fortement unis par un ciment siliceux que, si l'on vient à briser le bloc, la séparation a lieu aussi bien par le milieu des galets que dans l'épaisseur du ciment.

Il est probable qu'un grand nombre de couches ne se sont consolidées qu'au moment où elles sont sorties des eaux dans lesquelles elles avaient été déposées, et lorsqu'elles ont commencé à devenir terre ferme. Un fait bien connu paraît confirmer cette idée : les pierres que l'on emploie dans la construction des bâtiments ou des voies publiques sont pres-

(1) *Report of British Association*, 1843, p. 178.

que toujours beaucoup plus molles, plus tendres au moment où elles sont enlevées de la carrière qu'après avoir été exposées à l'air; cependant une fois qu'elles sont sèches, on peut les replacer dans l'eau pendant aussi longtemps que l'on veut, sans qu'elles reprennent leur état primitif. C'est pour cette raison qu'on taille les pierres destinées aux travaux d'architecture, de préférence pendant qu'elles sont encore tendres et humides et qu'elles contiennent leur *eau de carrière*, comme on dit communément; de même aussi, on casse la pierre destinée aux routes pendant qu'elle est molle, et on la laisse ensuite sécher à l'air, pendant des mois, pour la durcir, avant de l'étendre sur la voie. On peut se rendre compte de ce durcissement en supposant que l'eau qui pénètre les plus petits pores des roches dépose, par l'évaporation, du carbonate de chaux, du fer, de la silice et d'autres minéraux qui y étaient précédemment tenus en dissolution; ces matières remplissent partiellement les interstices poreux, perdent, en cristallisant, toute liberté de mouvement, et relient entre elles les portions de la roche qui n'étaient auparavant que juxtaposées. C'est d'après le même principe que le sable humide et la vase deviennent aussi durs que la pierre, quand ils sont gelés, parce que l'un des ingrédients de la masse, c'est-à-dire l'eau, cristallise de manière à unir fortement toutes les particules séparées dont le sable et la vase meubles étaient composés.

Le docteur Mac-Culloch cite un grès de l'île de Skye, que l'on peut mouler comme de la pâte, au moment de son extraction; des minéraux qui, dans nos cabinets, sont rigides et aussi résistants que du verre, ont été souvent flexibles et mous dans leurs lits primitifs : tels sont l'asbeste, le sahlite, la trémolite, la calcédoine, et, comme on le prétend, le béryl (1).

La marne qui se dépose aujourd'hui au fond du Lac Supérieur, dans l'Amérique du Nord, est molle et souvent remplie

(1) Docteur Mac-Culloch. *Syst. of Geol.*, vol. I, p. 123.

de coquilles d'eau douce; mais, si l'on en fait sécher un morceau, il devient si dur que l'on a de la peine à le casser d'un coup de marteau. Si l'on pouvait dessécher le lac, on trouverait que le dépôt qui en forme le fond consiste en couches de marne semblables à celles que l'on a observées dans bien des formations européennes, et qu'il contient, comme elles, des coquilles d'eau douce.

Il est probable que quelques-unes des matières hétérogènes que les rivières transportent à la mer, se consolident immédiatement sous l'eau, comme le mélange artificiel nommé pouzzolane, lequel consiste en sable fin volcanique chargé d'environ 20 pour 100 d'oxyde de fer avec une petite quantité de chaux. Cette substance devient très-dure et forme une pierre très-résistante dans l'eau; les Romains s'en servaient pour la fondation des constructions marines.

Dans ce cas, la consolidation a lieu par l'action de l'affinité chimique sur une matière à l'état de particules infiniment ténues, précédemment suspendue dans l'eau. Une fois le dépôt terminé, ces particules paraissent exercer sur elles-mêmes une attraction mutuelle; elles se rassemblent en certains points et forment des blocs, des nodules et des concrétions. Ainsi, dans différents dépôts argileux, on rencontre des boules calcaires ou concrétions sphériques, rangées par bandes parallèles à la stratification générale ; cette disposition s'est produite après que le schiste ou la marne ont été précipités en feuillets successifs, car on distingue souvent, dans les concrétions, certains de ces feuillets parfaitement marqués et parallèles à ceux de la roche non consolidée environnante (fig. 55). Quelques-uns de ces nodules de calcaire contiennent souvent, à leur centre, une coquille ou un corps étranger (1).

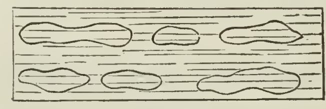


FIG. 55. — Nodules de calcaire dans le Lias.

Parmi les plus remarquables exemples de structure concré-

(1) Voyez De la Bèche, *Geological Researches*, p. 95, et *Geol. Observer*, 1851, p. 686.

tionnée on peut citer ceux que décrit le Professeur Sedgwick, et que l'on observe abondamment dans le calcaire magnésien du nord de l'Angleterre. Les boules sphériques y sont de différentes grosseurs, depuis celle d'un pois jusqu'à celle de quelques décimètres ; elles ont toutes une structure concentrique et rayonnée, et des bandes du dépôt originel les traversent sans interruption. Dans certains escarpements, ce calcaire ressemble à une longue rangée irrégulière de boulets de canon. Quelques-unes de ces masses globulaires ont leur centre dans une couche, tandis qu'une partie de leur circonférence traverse la couche supérieure ou inférieure. Ainsi (fig. 56) le plus grand sphéroïde passe de la couche *b* dans la couche *a* qui est au-dessus. Dans ce cas, on doit supposer que le dépôt d'une série de petits lits a primitivement formé la couche *b* et ensuite la couche *a;* un mouvement des particules a eu lieu alors, et les carbonates de chaux et de magnésie se sont séparés de la matière mélangée la plus impure, qui a continué de former la portion non consolidée de la couche. La cristallisation, commençant au centre, a dû produire, autour du noyau, des couches concentriques qui n'ont aucun rapport avec la structure feuilletée de la roche.

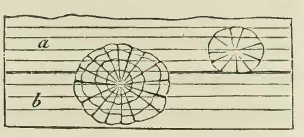


FIG. 56. — Concrétions sphéroïdales dans le calcaire magnésien.

Quand les particules des roches ont été ainsi modifiées par des forces chimiques, il est quelquefois difficile, je dirai même impossible, de s'assurer si certaines lignes de division sont dues au dépôt originel ou à l'agrégation subséquente des particules semblables (fig. 57). Supposons que trois couches de grès A, B, C, soient inégalement chargées de matière calcaire et que B soit la plus calcaire : si la consolidation a lieu dans B, l'action de concrétion doit empiéter supérieurement sur une portion de A, où le carbonate de chaux est plus abondant que dans le reste

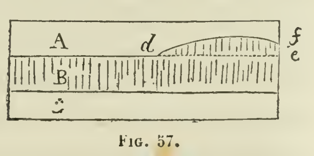


FIG. 57.

de l'ensemble; de manière qu'une portion *def*, faisant partie de la couche supérieure, s'unira avec B en masse pierreuse solide. La ligne originelle de division *de* se trouvant ainsi effacée, la ligne *df* sera généralement considérée comme la surface du lit B, quoiqu'elle ne soit point un véritable plan de stratification.

Pression et chaleur. — Lorsque du sable et de la vase se déposent au fond d'une mer profonde, les particules ne supportent pas tout le poids énorme de l'Océan qui est au-dessus; car l'eau qui se trouve mêlée au sable et à la boue résiste à la pression avec une force égale à celle de la colonne fluide qui repose sur elle. Il en est de même des débris organiques, lorsque, remplis d'eau, ils se déposent sous une grande pression; s'il en était autrement, ils seraient immédiatement broyés ou aplatis. Néanmoins, si les matériaux d'une couche restent dans un état de mollesse, et s'ils ne se solidifient pas, ils seront graduellement écrasés par le poids des autres matériaux qui s'amoncelleront successivement sur eux, de même que de l'argile molle ou du sable meuble sur lequel une maison serait construite ne tarderait pas à s'affaisser et à céder. Par suite de cette compression, les particules d'argile, de sable et de marbre peuvent être resserrées en un espace moindre et finir par se joindre en masse compacte.

Des effets analogues de condensation peuvent avoir lieu quand les parties solides de la croûte terrestre sont comprimées dans des directions diverses par ces mouvements mécaniques que nous décrirons plus loin, et par lesquels des couches ont été inclinées, brisées ou élevées au-dessus du niveau de la mer. Les roches, composées de matériaux sans consistance, peuvent aussi, au contact d'autres roches qui se sont consolidées avant elles, avoir été pressées contre celles-ci et avoir acquis une structure nouvelle. Une découverte récente nous aidera sans doute à comprendre comment un sédiment fin, provenant du détritus des roches, peut se solidifier par la seule pression. Le graphite, ou *mine de*

plomb du commerce (en anglais, *black lead*, plomb noir), commençant à devenir très-rare, M. Brockedon a imaginé de recueillir la poussière des portions les plus pures du minéral du Borrowdale et d'en reconstituer une masse aussi solide et aussi compacte que le graphite naturel. Voici son procédé. La poussière de graphite est d'abord préparée avec soin, purgée d'air, placée sous une presse puissante, soigneusement calfeutrée, et sur un coin d'acier très-fort ; on donne plusieurs coups de presse, chacun de la puissance de 1000 tonnes, et, après cette opération, la masse est si parfaitement solidifiée qu'on peut la tailler pour faire des crayons, et qu'elle montre dans la cassure la même texture que le graphite natif.

L'action de la chaleur, à diverses profondeurs de la terre, est probablement la plus puissante de toutes les causes qui coopèrent à l'endurcissement des couches sédimentaires. Je reviendrai sur ce sujet quand je parlerai des roches métamorphiques et de la structure schisteuse et feuilletée.

Minéralisation des débris organiques. — Les changements que les corps organiques fossiles ont éprouvés depuis qu'ils ont été enfouis dans les roches jettent un grand jour sur le mode de consolidation des couches. Dans quelques dépôts modernes, les coquilles fossiles n'ont éprouvé presque aucune altération depuis des siècles, si ce n'est la perte partielle de leur matière animale ; mais, dans d'autres cas, la coquille a disparu, laissant soit une empreinte de sa forme extérieure, soit un moule de sa forme intérieure, soit enfin son propre moule. On comprendra facilement ces différentes formes de fossilisation, si l'on examine la vase au moment où l'on vient de la retirer d'un étang ou d'un canal où il y a des coquilles. Si la vase est argileuse, elle acquiert de la consistance en séchant ; et lorsqu'on vient à en briser un morceau, on trouve que chaque coquille a laissé des empreintes de sa forme extérieure. Si l'on enlève la coquille elle-même, on trouve à l'intérieur un noyau solide d'argile, ayant la forme de l'intérieur de la coquille. Cette forme est souvent très-dif-

férente de la forme extérieure. Voyez le moule *a* (fig. 58) qui se rapporte à la coquille qu'on appelle communément *vis fossile*. Un conchyliologiste inexpérimenté pourrait-il jamais supposer que c'est la forme intérieure de l'univalve fossile *b* (fig. 58)? Admettrait-il de même, à la première vue, que

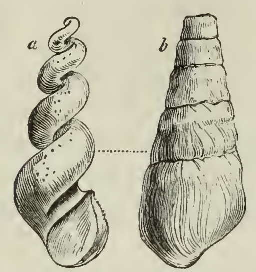


FIG. 58. — *Phasianella Heddingtonensis,* et son moule. (Coral rag.)

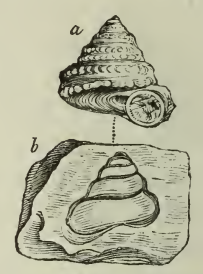


FIG. 59. — *Pleurotomaria Anglica,* et son moule. (Lias.)

la coquille *a* et le moule *b* (fig. 59) aient fait partie d'un même fossile? Le lecteur observera, dans la fig. 59, *b*, qu'un espace vide, ombré fortement, autrefois occupé par la coquille elle-même, subsiste aujourd'hui entre la pierre enveloppante et le moule ou empreinte qui reproduit l'intérieur lisse des tours de spire. La coquille a été dissoute, et les particules qui la composaient ont été enlevées par l'eau qui a filtré au travers de la roche. Si le noyau avait disparu, on eût vu à sa place une sorte de moule creux reproduisant en relief la forme extérieure de la coquille, avec ses tubercules et ses stries (*a*, fig. 59). Si, d'un autre côté, l'espace qui existe entre le noyau et l'empreinte, au lieu d'être vide, eût été rempli par du spath calcaire, de la silice, de la pyrite ou tout autre minéral, le moule nous aurait donné une empreinte exacte de la forme extérieure, aussi bien que de la forme intérieure de la coquille originelle. C'est ainsi que se sont produits les moules ou empreintes silicifiées; et si le sable ou la boue du noyau sont de nature incohérente ou solubles dans l'acide, on peut alors se procurer en silice une coquille vide qui, par sa forme, est la contre-partie exacte de la coquille primitive. Ce genre de moule rappelle ces statues de bronze

qui représentent une forme superficielle sans donner aucune idée de l'organisation intérieure. Mais voici un autre exemple de pétrification qui est très-commun, et qui est des plus merveilleux ; on peut le comparer à certains modèles anatomiques en cire, qui non-seulement reproduisent les traits et les formes extérieures, mais encore les nerfs, les vaisseaux sanguins et les autres organes intérieurs. Cet exemple est fourni par des coraux originairement calcaires qui ont conservé, dans le silex, non-seulement leur forme générale, mais aussi leur organisation intérieure jusque dans les plus minimes détails.

Une pétrification de ce genre, mais bien plus remarquable encore, se voit dans le bois fossile, qui conserve souvent, non-seulement les anneaux qui marquent sa croissance annuelle, mais même ses vaisseaux les plus petits et ses rayons médullaires ; on y distingue encore les cellules, les fibres, et jusqu'à ces vaisseaux spiraux que l'on ne peut découvrir qu'à l'aide du microscope dans les végétaux vivants. Parmi beaucoup d'exemples, je puis citer un arbre fossile de 22 mètres environ de longueur, que l'on a trouvé à Gosforth, près de Newcastle, dans une couche de grès associé à du charbon. Une tranche prise en travers, et assez mince pour permettre le passage à la lumière, m'a fait voir, sous un microscope grossissant cinquante-cinq fois, la texture que je représente (fig. 60). On a observé une texture aussi détaillée dans le bois de gros troncs d'arbres fossiles trouvés dans la carrière de Craigleith, près d'Édimbourg ; la pierre n'était aucunement siliceuse ; elle contenait principalement du carbonate de chaux, de l'oxyde de fer, de l'alumine et du carbone. Les rangées parallèles de vaisseaux qu'on observe dans la figure 60 représentent les anneaux d'accroissement annuel ; sur un point seulement, ces vaisseaux ne sont conservés qu'imparfaitement, le bois ayant probablement été détérioré avant que la matière minéralisante eût pénétré jusqu'à cette partie de l'arbre.

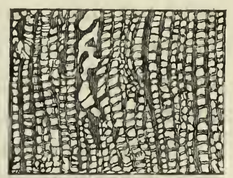


FIG. 60. — Texture d'un arbre du terrain houiller, grossie. (Witham.) Coupe transversale.

Pour essayer d'expliquer le procédé de pétrification dans ces différents cas, il faut d'abord admettre que les couches sont généralement imbibées d'eau chargée de petites parties calcaires, siliceuses et autres, tenues en dissolution. Nous verrons plus loin comment a lieu l'imbibition des couches.

Quand une substance organique se trouve exposée en plein air à l'action du soleil et de la pluie, elle finit par se putréfier ou par se dissoudre dans les éléments mêmes qui la composent, et qui sont principalement l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et le carbone. L'atmosphère a bientôt absorbé ces éléments, ou bien ils sont entraînés par les pluies, en sorte que tout vestige d'animal mort ou de plante disparaît. Mais, lorsque ces mêmes substances sont submergées, elles se décomposent plus lentement, et, si elles sont enfouies dans la terre, elles disparaissent plus insensiblement encore, comme on peut s'en convaincre par les exemples que nous fournissent les bois que nous y trouvons.

Donc, si, à mesure que chaque particule organique se dégage par la putréfaction pour passer à l'état fluide ou gazeux, une particule égale de carbonate de chaux, de silice, ou d'autre minéral, se trouve toute prête à se déposer, on peut présumer que la matière inorganique ira prendre précisément la place abandonnée par la molécule organique. De cette manière, non-seulement on obtiendra d'abord le moule intérieur de certains vaisseaux, mais les parois de ces mêmes vaisseaux pourront ensuite se décomposer et éprouver une transformation semblable. Cependant, lorsque le tout est pétrifié, rien ne l'oblige à former une masse homogène, pierreuse ou métallique. Quelques-uns des éléments organiques originels, ligneux, osseux ou autres, peuvent y rester mélangés dans certains endroits, en même temps que la substance pétrifiante peut se colorer différemment à diverses époques, ou bien cristalliser de manière à réfléchir autrement la lumière; et c'est ainsi que la texture du corps primitif peut être fidèlement représentée.

L'élève demandera peut-être si, d'après les principes de

la chimie, nous avons lieu d'attendre que la matière minérale se précipite précisément dans les endroits mêmes où la décomposition organique est en voie de progrès. Les expériences curieuses que je vais mentionner serviront à éclaircir ce point. Le professeur Göppert, de Breslau, a essayé tout récemment d'imiter les procédés naturels de la pétrification. A cet effet, il a plongé diverses variétés de substances animales et végétales dans des eaux dont quelques-unes contenaient, en dissolution, de la matière calcaire, siliceuse ou métallique. Au bout de quelques semaines et même de quelques jours, il s'est aperçu que les corps organiques ainsi immergés étaient minéralisés en partie. Ainsi, il a placé, dans une solution moyennement concentrée de sulfate de fer, de minces lanières longitudinales de sapin d'Écosse (*Pinus sylvestris*). Après les avoir laissées tremper dans le liquide pendant quelques jours, il les a fait sécher, puis il les a exposées à une grande chaleur jusqu'à ce que la matière végétale fût consumée et que rien ne restât que l'oxyde de fer ; cet oxyde avait pris si parfaitement la forme du bois, que, sous le microscope, on y apercevait distinctement jusqu'aux vaisseaux qui sont particuliers à cette famille.

Une autre expérience est rapportée par M. Pepys, dans les *Transactions géologiques* (1). Une cruche de terre contenant plusieurs litres de sulfate de fer en dissolution avait été oubliée et laissée dans un coin du laboratoire, depuis douze mois environ. Au bout de ce temps, lorsqu'on examina la liqueur, on remarqua sur la surface une sorte de corps huileux et une poudre jaunâtre que l'on reconnut être du soufre ; à cette poudre était mêlée une certaine quantité de petits poils. On découvrit au fond de la cruche des ossements de souris, au milieu d'un sédiment contenant de petits grains de pyrite, des parcelles de soufre, du sulfate vert de fer cristallisé, enfin un oxyde de fer noir et vaseux. Il était évident que quelques souris, tombées accidentellement dans le fluide,

(1) Voyez tome I, p. 309, 1re série.

s'y étaient noyées, et que, par l'action mutuelle de la matière animale et du sulfate de fer, le sulfate métallique avait été dépouillé de son oxygène ; ce qui avait amené la précipitation des pyrites et des autres composés. Quoique les souris n'eussent pas été minéralisées ou converties en pyrite, le phénomène ne montra pas moins comment les eaux minérales chargées de sulfate de fer peuvent se désoxyder lorsqu'elles se trouvent en contact avec de la matière animale en voie de putréfaction ; comment, atome par atome, les pyrites peuvent se former, et, dans des circonstances favorables, remplacer l'oxygène, l'hydrogène et le carbone dans lesquels le corps originel devait se résoudre.

Feu le docteur Turner a observé que, lorsque la matière minérale est à l'état naissant, c'est-à-dire au moment même où elle se dégage de l'état de combinaison chimique, elle est plus prompte à s'unir à une autre matière et à former un nouveau composé chimique. Probablement les atomes, au moment où ils sont mis en liberté, sont d'un volume infiniment petit, se meuvent plus aisément, et sont, en un mot, plus disposés à céder aux moindres impulsions de l'affinité chimique. Quelle qu'en soit la cause, il faut admettre, comme nous l'avons fait précédemment, qu'où la matière organique, nouvellement déposée dans un sédiment, se décompose, les changements chimiques ont lieu avec une activité plus grande.

On a dernièrement analysé l'eau qui découle de cette riche vase que dépose la rivière Hooghly, dans le delta du Gange, après l'inondation annuelle, et l'on a trouvé qu'elle est fortement chargée de gaz acide carbonique contenant de la chaux en dissolution (1). Or, si l'on admet que cette vase nouvellement déposée puisse être pénétrée par une matière minérale à l'état de dissolution, il ne sera pas difficile de comprendre que les corps organiques enfouis naturellement dans le sédiment où ils se décomposent, pourront se pétrifier aussi ra-

(1) Piddington, *Asiat. Research.*, vol. XVIII, p. 226.

pidement que les substances artificiellement immergées par le professeur Göpper dans ses différents mélanges liquides.

Il est reconnu que l'eau des sources, ou celle qui filtre continuellement au travers de la croûte terrestre, contient presque toujours une légère proportion de fer, de carbonate de chaux, de soufre, de silice, de potasse ou d'autres ingrédients terreux, alcalins ou métalliques. Les sources d'eau chaude, en particulier, sont chargées d'un ou de plusieurs de ces éléments, et c'est seulement dans ces eaux que l'on trouve la silice en abondance. On peut donc, dans certains cas, surtout dans les régions volcaniques, croire que la silice des bois silicifiés et des coraux a été fournie par les eaux des sources thermales. Dans d'autres cas, dans le tripoli, par exemple, la silice a pu naître en grande partie, si ce n'est en totalité, de la décomposition de Diatomacées, d'éponges et d'autres corps. S'il en est ainsi, il nous reste encore à chercher d'où vient qu'un lac ou l'Océan peuvent être constamment fournis, et en si grande abondance, de la matière calcaire et siliceuse que leur empruntent, pour leurs sécrétions, tant d'êtres vivants?

Quant à ce qui concerne le carbonate de chaux, il n'y a aucune difficulté à en expliquer l'origine, non-seulement parce que les sources calcaires sont nombreuses, mais encore parce que l'eau de pluie, quand elle tombe sur un sol où des matières végétales sont en voie de décomposition, peut se charger d'une certaine quantité d'acide carbonique, et acquérir ainsi le pouvoir de dissoudre une partie des roches calcaires sur lesquelles elle coule. Les coraux marins et les mollusques trouvent donc dans l'eau des fleuves la matière qui constitue leur coquille et leurs supports solides. La silice pure, au contraire, fût-elle réduite en poudre impalpable, et la fît-on bouillir longtemps, est insoluble dans l'eau, excepté à une température très-élevée. Néanmoins le docteur Turner a très-bien expliqué, dans un Essai sur la chimie géologique (1), comment la décomposition du feldspath pou-

(1) Jam., *Ed. New Phil. Journ.*, n° 30, p. 246.

vait être une source de silice en dissolution. Il a remarqué que la terre siliceuse, qui constitue plus de la moitié du feldspath, est intimement combinée avec l'alumine, la potasse et quelques autres éléments. La matière alcaline du feldspath a de l'affinité chimique pour l'eau, ainsi que pour l'acide carbonique qui se trouve en plus ou moins grande abondance dans les eaux de la plupart des sources. L'eau charrie donc, avec elle, de la matière alcaline, et abandonne, sur son passage, une argile formée d'alumine et de silice. Mais on reconnaît que le résultat de cette décomposition qui, dans son plus grand état de pureté, reçoit le nom d'argile à porcelaine, ne contient qu'une partie de la silice qui existait dans le feldspath primitif ; l'autre partie doit conséquemment avoir été dissoute et entraînée, et cela de deux manières : en premier lieu, parce que la silice, quand elle est combinée avec un alcali, est soluble dans l'eau ; en second lieu, parce que cette même silice, lorsqu'elle est, techniquement parlant, dans son *état naissant*, est également soluble dans l'eau. De là une source sans fin d'aliments pour les rivières et les eaux de la mer. Les roches feldspathiques sont généralement répandues, et forment une grande portion des formations volcaniques, plutoniques et métamorphiques ; lors même qu'on n'en aperçoit pas de grandes masses, on manque rarement d'en découvrir des traces dans le gravier superficiel ou dans les dépôts d'alluvion du bassin de toute grande rivière.

La désagrégation du mica, autre minéral qui entre si largement dans la composition du granit et des différents grès, peut aussi fournir de la silice double dans l'eau ; car la moitié environ de ce minéral est composée de silice combinée avec l'alumine, la potasse et à peu près un dixième de fer, dont l'oxydation dans l'air est la cause principale de la décomposition du mica.

Il nous reste cependant encore beaucoup à apprendre avant de connaître complétement la transformation des corps fossiles en pierre. Quelques phénomènes nous portent à croire que la minéralisation s'opère avec une rapidité con-

sidérable, car on rencontre, parfaitement converties en silex, des tiges qui ont dû être molles, succulentes et d'une nature promptement périssable. On connaît des exemples de silicification complète de jeunes feuilles de palmier sur le point de se développer, dans l'état où, dans les Indes occidentales, on leur donne le nom de *choux palmiers* (1). On peut demander cependant si, dans de tels cas, l'eau n'a pas possédé une qualité antiseptique qui a retardé la putréfaction, de manière à préserver de toute altération les parties molles de la substance enfouie, comme il en a été de la chair de certains corps ensevelis dans la tourbe.

M. Stokes a cité plusieurs exemples de pétrification, dans lesquels ce sont tantôt les parties les plus périssables, et tantôt les parties les plus durables du bois qui ont été conservées. Ces variations, pense-t-il, ont dépendu du temps auquel le minéral pétrifiant a été introduit. Ainsi, dans certaines tiges silicifiées de palmier, le tissu cellulaire, cette portion si délicate, se trouve dans un état parfait de conservation, tandis que toutes les traces de la fibre dure du bois ont totalement disparu ; les espaces qu'elle occupait sont restés creux ou ont été remplis d'agate. Ici, la pétrification a dû se manifester peu de temps après que le bois eut commencé à être pénétré par l'humidité ; la matière minérale vint à manquer ou bien l'eau devint trop affaiblie avant la destruction de la fibre du bois. Mais quand cette fibre seule demeure visible, nous devons supposer qu'un intervalle de temps a dû s'écouler avant le commencement de la pétrification, et que, pendant ce temps, le tissu cellulaire a été détruit. Quand ces deux parties à la fois, le tissu cellulaire et la fibre ligneuse, sont conservées, l'opération a dû se produire instantanément et se continuer sans interruption, jusqu'à ce qu'elle ait été complétement terminée (2).

(1) Stokes, *Geol. Trans.*, vol. V, p. 212, 2e série.
(2) *Ibidem.*

CHAPITRE V

ÉLÉVATION DES COUCHES AU-DESSUS DE LA MER. — STRATIFICATION HORIZONTALE ET INCLINÉE.

Pourquoi la position élevée des couches marines au-dessus du niveau de la mer doit-elle être attribuée plutôt à l'exhaussement de la terre qu'à l'abaissement de la mer? — Élévation de masses très-étendues de couches horizontales. — Stratification verticale et inclinée. — Lignes anticlinales et synclinales. — Couches plissées, dans l'est de l'Écosse. — Théorie des plis par mouvement latéral. — *Creeps*. — Plongement et direction. — Structure du Jura. — Formes diverses d'affleurements. — Roches brisées par flexion. — Position intervertie de couches disloquées. — Fausse stratification. — Hutton et Playfair sur ce sujet. — Fractures des couches. — Surfaces polies. — Failles. — Alternances répétées, apparentes, qu'elles produisent. — Origine des grandes failles.

La terre s'est élevée, la mer n'a pas baissé. — Nous avons établi que les roches aqueuses qui contiennent des fossiles marins occupent une vaste étendue sur le continent, et que, sous forme de chaînes de montagnes, elles atteignent des hauteurs considérables au-dessus du niveau de la mer (p. 6). Il s'ensuit que les continents d'aujourd'hui ont été autrefois sous les eaux. Si nous admettons cette conclusion, nous devons supposer, ou que les eaux de l'Océan se sont abaissées, ou que les roches solides, autrefois couvertes par les eaux, se sont élevées au-dessus de la mer et sont devenues des terres fermes.

Les premiers géologues qui se trouvèrent réduits à cette alternative, embrassèrent la première opinion; ils prétendirent que l'Océan avait originairement couvert la terre, qu'il avait ensuite graduellement baissé jusqu'au niveau qu'il atteint actuellement, et que c'est ainsi que les îles et les continents auraient été laissés à sec. Il parut plus facile à ces géologues de supposer un abaissement de l'eau que d'admettre un exhaussement par lequel la terre solide se serait

élevée à sa position présente. Il leur fut cependant impossible d'imaginer aucune hypothèse satisfaisante pour expliquer la disparition d'une masse d'eau aussi considérable de la surface du globe ; car on ne saurait nier que l'Océan ait couvert de ses eaux tout point élevé où l'on peut découvrir des coquilles marines. Il devint cependant évident, à mesure que la science de la géologie fit des progrès, que certaines régions du globe avaient été alternativement fond de mer, puis terre exondée, puis baie, puis mer encore, et enfin, une fois de plus, terre habitable, après être restées dans chacun de ces états pendant un temps considérable. Pour rendre compte de semblables phénomènes, sans admettre aucun mouvement de la terre même, il fallait supposer plusieurs retraites et retours de l'Océan ; et encore cette théorie, uniquement applicable aux cas où les couches marines qui composent la terre ferme sont horizontales, laissait sans explication les cas bien plus nombreux où les couches sont inclinées, courbées ou posées sur leur tranche, position qui, évidemment, n'est pas celle qu'elles ont occupée dans l'origine.

Les géologues furent enfin obligés d'avoir recours à l'autre alternative, savoir, à la doctrine d'après laquelle la terre solide aurait été successivement exhaussée ou abaissée, de manière à changer plusieurs fois de niveau relativement à la mer. Différentes raisons militent en faveur de cette conclusion. D'abord, elle peut rendre compte de la position de ces masses élevées, d'origine marine, et dans lesquelles la stratification est horizontale ; elle peut expliquer aussi la position des couches qui sont disloquées, brisées, verticales ou inclinées. En second lieu, elle est d'accord avec les expériences qui nous démontrent que la terre s'élève granduellement dans quelques endroits, et qu'elle s'abaisse dans quelques autres. De pareils mouvements ont eu lieu même de nos jours et sont actuellement en voie de progrès ; dans certains cas, ils ont été accompagnés de violentes commotions, tandis que, dans d'autres, ils se produisent si insensiblement, qu'on n'a pu les constater qu'au moyen des recherches scientifiques

les plus minutieuses, faites à des intervalles de temps considérables. D'un autre côté, aucune expérience n'a constaté l'abaissement du niveau de la mer dans aucune région, et l'Océan ne peut baisser sur un point sans que son niveau soit modifié en même temps sur toute la surface du globe.

Ces remarques préliminaires prépareront le lecteur à comprendre le grand intérêt théorique qui se rattache à tous les faits relatifs à la position des couches horizontales ou inclinées, courbes ou verticales.

La première et la plus simple de toutes ces positions est celle où les couches d'origine marine se rencontrent au-dessus du niveau de la mer, dans une direction horizontale. Telles sont celles que l'on voit dans le sud de la Sicile, et qui sont remplies de coquilles appartenant aux mêmes espèces que celles qui vivent de nos jours dans la Mediterranée. Quelques-unes de ces couches s'élèvent à plus de 600 mètres au-dessus de la mer.

D'autres massifs de montagnes, également composés de couches horizontales d'un âge très-ancien, contiennent des débris fossiles d'animaux totalement différents de ceux qui existent aujourd'hui. Au sud de la Suède, par exemple, près du lac Wener, un des dépôts fossilifères les plus anciens de la série géologique, autrefois désigné sous le nom de *dépôt de transition*, et qui l'est maintenant sous celui de *silurien*, nous montre des lits placés comme s'ils avaient fait tout récemment partie du delta d'une grande rivière, et comme s'ils avaient été laissés à sec par le retrait de débordements annuels. Des roches aqueuses, à peu près du même âge, s'étendent sur des centaines de kilomètres, dans le district des lacs de l'Amérique du Nord, et montrent également une stratification rarement dérangée. La montagne de la Table, au cap de Bonne-Espérance, fournit un autre exemple de couches très-élevées et cependant parfaitement horizontales ; cette montagne a plus de 1000 mètres de hauteur ; elle est formée de grès d'un âge très-ancien.

Au lieu d'imaginer que ces roches fossilifères ont toujours

occupé leur niveau actuel, et qu'autrefois la mer a été assez élevée pour les couvrir de ses eaux, nous supposerons qu'elles ont formé d'abord l'ancien lit de l'Océan, et qu'elles ont été ensuite graduellement portées à la hauteur qu'elles occupent aujourd'hui. Cette idée, si étonnante qu'elle puisse paraître au premier abord, s'accorde cependant tout à fait avec l'analogie des changements qui ont eu lieu, de nos jours, dans certaines régions du globe. Ainsi, dans quelques parties de la Suède, sur les rives et les îles du golfe de Bothnie, on a des preuves que la terre a subi depuis des siècles, et subit encore un mouvement lent d'élévation. Playfair a émis cette opinion en 1802 ; et, en 1807, de Buch, après avoir voyagé en Scandinavie, affirma que la terre s'y élevait progressivement. Celsius et d'autres écrivains suédois avaient annoncé déjà, cent ans auparavant, qu'un changement graduel s'opérait depuis des siècles dans le niveau relatif de la terre et de la mer. Ils avaient attribué ce changement à une baisse des eaux de l'Océan et de la Baltique. Cette théorie, toutefois, se réfuta dès que l'on eut reconnu que le changement de niveau relatif n'a jamais été universel ni égal partout. Dans certaines contrées il s'est élevé de quelques mètres par siècle ; dans d'autres, de quelques centimètres ; tandis que, dans la partie la plus méridionale de la Suède, dans la province de Scanie, la terre a plutôt perdu que gagné, ainsi que le prouvent d'anciennes constructions qui ont graduellement baissé au-dessous du niveau de la mer (1).

Il paraît d'après les observations de M. Darwin et d'autres, que des parties très-étendues du continent de l'Amérique du Sud ont éprouvé un exhaussement lent et graduel, à la suite duquel les plaines unies de la Patagonie, couvertes

(1) Dans les trois premières éditions de mes *Principes de géologie*, j'ai exprimé des doutes sur la validité des preuves d'un exhaussement graduel de la terre en Suède ; mais, après avoir visité ce pays en 1834, j'ai rétracté mes objections, et j'ai publié un récit détaillé des observations qui m'avaient porté à changer d'opinion, dans les *Philos. Trans.*, 1835, part. I. Voyez également les *Principes*, 4e édit. et les suivantes.

de coquilles marines récentes, et les Pampas de Buenos-Ayres, ont été élevées au-dessus du niveau de la mer (1).

D'un autre côté, l'abaissement graduel de la côte sud du Groënland, sur une longueur de plus de 900 kilomètres, du nord au sud, pendant les quatre siècles derniers, a été constaté par les observations d'un naturaliste danois, le docteur Pingel. Pendant que ces preuves d'abaissement et d'exhaussement du continent, par des mouvements lents et insensibles, étaient récemment recueillies, d'autres preuves du changement de niveau étaient fournies journellement par les violentes convulsions que ressentaient les pays où les tremblements de terre sont fréquents. Là, les roches se fendent de temps à autres, s'élèvent ou s'abaissent de plusieurs mètres à la fois, et sont bouleversées de telle manière que la position primitive des couches est pour jamais modifiée.

M. Darwin a aussi démontré que, dans les mers où les îles circulaires et les récifs de coraux abondent, il se produit un abaissement lent, mais continuel, des montagnes sous-marines sur lesquelles reposent les masses de corail, tandis que, sur d'autres points de la mer du Sud, la terre est en voie d'exhaussement, et le corail a été élevé bien au-dessus du niveau de la mer.

Il faudrait tout un volume pour expliquer au lecteur les faits qui établissent la réalité de ces mouvements d'abaissement ou d'élévation de la terre, qu'ils soient suivis ou précédés de tremblements de terre, ou bien qu'ils s'accomplissent avec lenteur et sans désordre local. Comme j'ai traité complétement de ce sujet dans les *Principes de géologie* (2), j'ajouterai seulement ici que de tels changements font partie du cours actuel de la nature; ce principe une fois admis suffira pour donner la clef d'une quantité de phénomènes géologiques, tels que l'élévation des couches marines hori-

(1) Voyez son *Journal d'un naturaliste*, dans le *Voyage du Beagle*, et son ouvrage sur les *Bancs de coraux*.

(2) Voyez chap. XXVII à XXXII inclusivement, et chap. I.

zontales, inclinées ou bouleversées, et la superposition des dépôts d'eau douce aux dépôts marins que nous décrirons plus loin.

On verra aussi, par la suite, quel jour répandra la doctrine de l'abaissement continu de la terre, sur la manière dont une série de couches, se formant dans des eaux basses, peuvent cependant s'accumuler sur une grande épaisseur. On ne saurait comprendre l'excavation des vallées ni les autres effets de la *dénudation*, si l'on n'a pas mûrement apprécié à l'avance les preuves de l'élévation ou de l'abaissement de la terre sur de vastes étendues.

Pour terminer, je dois faire observer que, si nous embrassions la doctrine qui attribue la position élevée des formations marines et la dépression de certaines couches d'eau douce aux oscillations du niveau des eaux, au lieu de l'attribuer à celles du niveau de la terre, nous serions forcés d'admettre que l'Océan aurait été parfois moins profond sur toute son étendue qu'il ne l'est à présent, tandis que, dans certains endroits, il aurait eu près de 5 kilomètres de profondeur de plus qu'il n'en a aujourd'hui.

Stratification inclinée. — La preuve la moins équivoque d'un changement dans la position primitive des couches, est celle de la perpendicularité de leurs plans, que l'on observe fréquemment, surtout dans les contrées montagneuses. Ainsi, on remarque en Écosse, à la lisière sud des Grampians, des lits de poudingue, alternant avec des bandes minces de sable fin, et, comme elles, en position verticale.

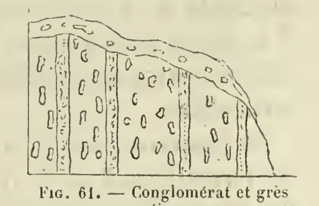


FIG. 61. — Conglomérat et grès verticaux.

Quand de Saussure trouva pour la première fois, dans les Alpes suisses, certains conglomérats dans une situation semblable, il observa que les galets, presque tous de forme ovale, avaient leurs axes les plus longs parallèles aux parois de la stratification (fig. 61). Il en conclut que ces couches devaient avoir été d'abord horizontales, chaque galet ovalaire n'ayant

dû reposer originellement au fond de l'eau que sur son côté plat, par la même raison qu'un œuf ne peut rester debout sur l'une ou l'autre de ses extrémités, s'il n'est soutenu par un point d'appui. Quelques-unes des pierres arrondies offrent quelquefois, il est vrai, dans les conglomérats, une exception à cette règle, par la même raison encore que nous voyons, sur une plage couverte de galets, quelques-uns de ceux-ci reposer sur leur pointe ; mais ils ont été amenés à cette position par la vague, ou par le courant, qui les a culbutés les uns sur les autres.

Les couches verticales, lorsqu'on peut les suivre d'une manière continue vers le haut ou vers le bas, jusqu'à une certaine distance, semblent invariablement faire partie de grandes courbes qui peuvent avoir depuis quelques mètres jusqu'à plusieurs kilomètres de rayon. J'en citerai, en première ligne, deux qui affectent une régularité très-grande ; on les voit dans le Forfarshire, où elles s'étendent sur une surface de 30 kilomètres et plus en largeur, depuis le pied des Grampians jusqu'à la mer, près d'Arbroath.

La masse des couches que l'on observe sur ce point peut avoir environ 600 mètres d'épaisseur, et consiste en grès rouges et blancs, et en divers schistes colorés, on y distingue quatre groupes de lits principaux, savoir : n° 1, marne rouge ou schiste ; n° 2, grès rouge à bâtir ; n° 3, conglomérat ; et n° 4, pierre grise à paver et pierre à couvrir (*tilestone*) avec schistes verts ou rougeâtres, contenant des débris organiques particuliers.

En jetant un coup d'œil sur la coupe, on voit que chacune des formations 2, 3, 4, revient trois fois à la surface, deux fois avec une inclinaison sud, et une fois avec une inclinaison nord. Les lits n° 1, qui sont horizontaux, reviennent deux fois à la surface par une légère courbe, c'est-à-dire une fois de chaque côté de A. En commençant à l'extrémité N.-O., les tilestones et les conglomérats n° 4 et n° 3 sont verticaux, et forment généralement une chaîne parallèle aux lisières sud des Grampians. Les couches superieures n°s 2

et 1 inclinent de moins en moins, en descendant vers la vallée de Strathmore où les couches, présentant une courbe concave, reposent, comme disent les géologues, dans une *cuvette* ou *bassin*. Au centre de cette vallée, court une ligne imaginaire A, que l'on nomme techniquement une *ligne synclinale*, et où les lits qui se recourbent dans des directions opposées sont censés se réunir. Il importe beaucoup à l'observateur de noter ces lignes, car, il verra, par le diagramme, qu'en voyageant du nord au centre du bassin, il passera toujours des lits les plus anciens aux plus nouveaux, au lieu que, en traversant la ligne A et en poursuivant la même direction sud, il quittera successivement les lits les plus nouveaux, et s'avancera vers les plus anciens. Tous les dépôts qu'il aura d'abord examinés commenceront à se représenter dans un ordre inverse, jusqu'à ce qu'il arrive à l'axe central de Sidlaw Hills, où il verra les couches formant un arc ou *selle*, avec une ligne *anticlinale* B au centre. Après cette ligne, et en poursuivant vers le S.-E., les formations 4, 3 et 2 apparaîtront encore dans le même ordre de superposition, mais avec une inclinaison sud. A Whiteness (voir le diagramme) il verra que les couches inclinées sont

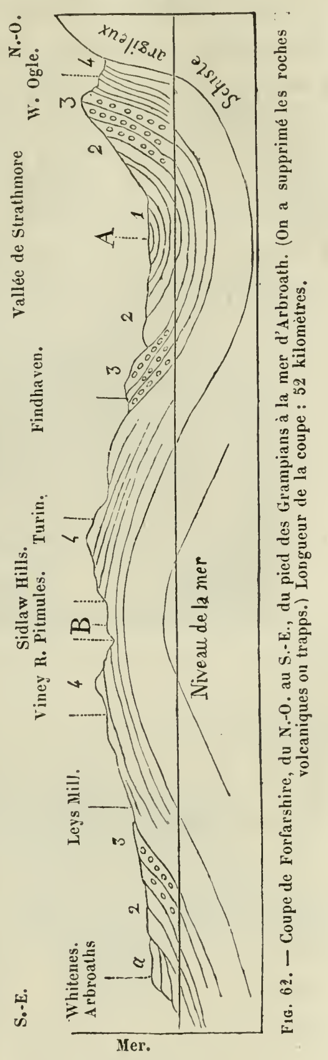


Fig. 62. — Coupe de Forfarshire, du N.-O. au S.-E., du pied des Grampians à la mer d'Arbroath. (On a supprimé les roches volcaniques ou trapps.) Longueur de la coupe : 52 kilomètres.

couvertes d'un nouveau dépôt *a*, en lits horizontaux composés de conglomérats rouges et de sable, plus récents qu'aucun des autres groupes 1, 2, 3, 4, que nous venons de décrire, et reposant en stratification discordante sur les couches du groupe de grès nº 2.

Sir James Hall a parfaitement décrit des courbures ou convolutions de roches bien plus aiguës et beaucoup plus nombreuses, sur un espace aussi limité, fig. 63 (1). On les observe près de Saint-Abb's Head, sur la côte orientale d'Écosse, où la roche principale est un schiste bleu, à surface fréquemment ondulée. Les ondulations des lits se prolongent depuis le sommet jusqu'à la base d'escarpements qui ont de 60 à 90 mètres de hauteur ; on compte, dans un espace d'environ 8 kilomètres, seize courbures distinctes, alternativement concaves et convexes vers le haut.



FIG. 63. — Couches de schiste recourbées, près de St-Abb's Head, Berwickshire. (Sir J. Hall.)

Sir James Hall fit une expérience pour reconnaître la manière dont les couches avaient été amenées à cette position après avoir été primitivement horizontales. Il plaça, sous un certain poids, une série de petits lits d'argile, et pressa assez fortement contre leurs extrémités opposées pour qu'elles fussent forcées de se rapprocher l'une vers l'autre. Après avoir ôté ensuite les poids, il remarqua que les petits lits étaient courbés et plissés, de manière à ressembler, en petit,

(1) *Edinb. Trans.*, vol. VII, pl. 3.

aux couches analogues des falaises. Nous devons, toutefois, ne pas oublier que, dans les sections naturelles ou escarpements marins, nous ne voyons qu'imparfaitement les plis ; ils sont invisibles sous les eaux, et d'ailleurs, on peut supposer que leur partie supérieure a été enlevée par la *dénudation*, action de l'eau dont nous donnerons l'explication dans le chapitre suivant. Les lignes noires (fig. 64) représentent la portion des couches visibles

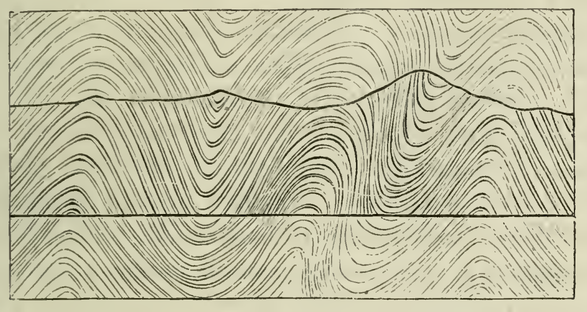


Fig. 64.

dans l'escarpement. Les lignes moins foncées désignent la portion cachée sous le niveau de la mer, ainsi que celle qui est supposée avoir existé au-dessus de la surface actuelle.

On rendrait encore plus saisissables les effets que la compression peut produire sur des couches flexibles, en plaçant quelques morceaux de drap de différentes couleurs sur une table ; après que ceux-ci auront

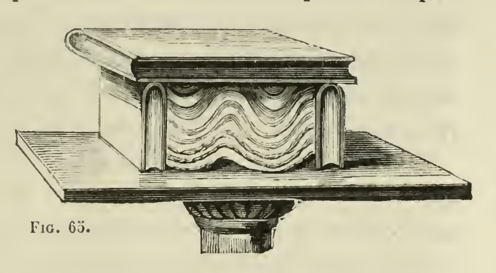


Fig. 65.

été étendus horizontalement, couvrez-les avec un livre, ajoutez ensuite d'autres livres à chacune des extrémités, et pressez le tout. Les plis de drap que vous obtiendrez reproduiront exactement ceux que l'on voit dans les courbures des couches (fig. 65).

Que ces courbures aient été le résultat de semblables efforts latéraux, c'est une question très-difficile à résoudre. Dans les cas des roches volcaniques et granitiques, il paraîtrait que certaines d'entre elles, au moment de la fusion, auraient été injectées de force dans des fissures, tandis que d'autres, déjà parvenues à un état complet de solidité, auraient été poussées de bas en haut au travers de la croûte supérieure de la terre, ce qui a dû causer un grand déplacement des couches flexibles.

Nous savons aussi, par l'étude que nous avons faite des contrées sujettes aux tremblements de terre, qu'il existe, d'une manière permanente, à l'intérieur du globe, des causes capables de produire un abaissement du sol souvent très-local, d'autres fois s'étendant sur une large surface. La répétition fréquente ou la continuité pendant de longues périodes de ces mouvements d'abaissement, semble impliquer la formation et le renouvellement de cavités à une certaine profondeur au-dessous de la surface, soit par suite d'un déplacement de matières dû à l'action des volcans et des sources thermales, soit par la contraction des roches argileuses sous l'influence de la chaleur et de la pression, soit enfin par quelque autre combinaison de phénomènes. Quelles que soient les conjectures auxquelles on se livre sur ces causes, il est certain que des couches susceptibles d'être pliées peuvent, lorsqu'il existe des degrés inégaux d'affaissement, se plisser plus ou moins, et paraître tout à fait comme si la compression se fût exercée subitement par un effort latéral.

Les *creeps* (1), nom usité dans les mines de houille, fournissent une excellente démonstration de ce fait. D'abord, on peut établir, d'une manière générale, que l'excavation de la houille, à une profondeur considérable, fait baisser en masse l'ensemble des couches sus-jacentes, même, quand on prend la précaution de multiplier les étais du toit de la mine. « Dans

(1) On appelle ainsi, en termes de mineur, dans certains districts houillers en Angleterre, les espèces d'effondrements qui ont lieu de bas en haut dans certaines exploitations de houille, et dont l'auteur donne ici la description. (*Note du traducteur.*)

le Yorkshire, dit M. Buddle, trois affaissements se manifestèrent à la surface du sol, lorsqu'on eut extrait les trois lits de houille sous-jacents, et d'innombrables fentes se produisirent dans le sens vertical, au travers des masses de grès et de schiste argileux qui subirent un tassement proportionnel (1). » La quantité exacte de dépression ne peut, dans ce cas, être exactement appréciée que sur les points où l'eau s'accumule à la surface, ou sur lesquels un chemin de fer traverse le bassin houiller.

Lorsqu'on exploite un lit de houille, on laisse, par intervalles, des piliers ou masses rectangulaires de houille, pour supporter le toit et protéger les galeries de mine. Dans la figure 66, qui représente une coupe prise à Wallsend (Newcastle), les galeries qui ont été excavées sont représentées par les espaces blancs *a*, *b*, tandis que les parties voisines, plus foncées, indiquent des portions de lits de houille primitifs laissés comme étais ; des lits d'argile sableuse ou de schiste argileux constituent le plancher de la mine. Lorsque les étais deviennent trop faibles, ils sont pressés par le poids des roches sus-jacentes (qui n'ont pas moins de 192 mètres d'épaisseur) sur le schiste argileux qui est au-dessous, et celui-ci, par suite de cette compression, cède, et s'ouvre d'espace en espace.

Comme on pouvait s'y attendre, ce n'est point le plancher qui s'élève, mais le plafond qui s'abaisse, et cet effet, appelé un *thrust* par les mineurs dans certains districts de l'Angleterre, doit se produire naturellement partout où le plancher est plus solide que le toit. Or il arrive ordinairement, dans les mines de houille, que le toit est composé de schiste argileux dur, ou quelquefois de grès, roches qui cèdent moins que les fondations, consistant souvent en argile ; et, même dans les endroits où les sous-couches argileuses étaient d'abord consistantes, elles s'amollissent bientôt et passent à un état plastique dès qu'elles sont exposées au contact de l'air et de l'eau dans le plancher de la mine.

(1) *Proceed. of Geol. Soc.*, vol. III, p. 148.

Le premier symptôme d'un *creep*, dit M. Buddle, est une légère courbure qui apparaît sur le fond de chaque galerie, comme on voit en *a* (fig. 66); dès ce moment le plan-

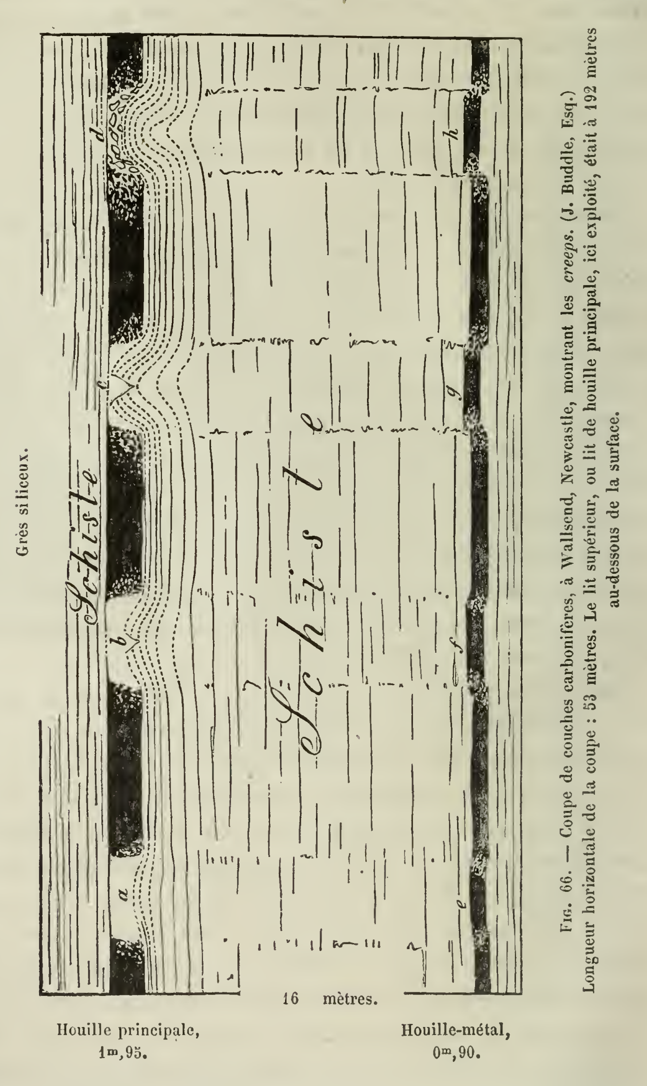


Fig. 66. — Coupe de couches carbonifères, à Wallsend, Newcastle, montrant les *creeps*. (J. Buddle, Esq.) Longueur horizontale de la coupe : 53 mètres. Le lit supérieur, ou lit de houille principale, ici exploité, était à 192 mètres au-dessous de la surface.

cher, continuant à hausser, commence à s'ouvrir suivant

une fente longitudinale *b;* puis les points des bords de rupture atteignent le toit, comme on voit en *c;* en dernier lieu, les lits exhaussés ferment la galerie entière, et les bords de rupture, le long de la crête, se sont de nouveau unis et présentent une surface plane au sommet, comme on voit en *d*. Sur ces entrefaites, la houille des étais a éclaté et s'est fendue par pression ; on remarque également qu'au-dessous des *creeps a*, *b*, *c*, *d*, une couche inférieure appelée *houille-métal*, d'un mètre d'épaisseur, s'est fracturée aux points *e*, *f*, *g*, *h;* elle a haussé du même coup, en montrant ainsi que le mouvement ascensionnel occasionné par l'extraction de la *houille principale* s'est propagé à travers les 16 mètres de lits argileux dont l'épaisseur sépare les deux lits de houille. Le même déplacement s'est fait sentir aussi vers le bas, à une profondeur de plus de 45 mètres au-dessous de la houille-métal; mais il devient de moins en moins prononcé et finit par être tout à fait imperceptible.

Le trait le plus saillant du phénomène que nous venons de décrire est la lenteur avec laquelle s'opère le changement dans la distribution des lits : des jours, des mois et même des années, s'écoulent entre le premier symptôme de la flexion du plancher et le moment où le toit est atteint. Sur les points où le mouvement a été plus rapide, la courbure des lits est plus régulière et la réunion des bords fracturés plus complète, tandis que les marques de déplacement ou de violence sont plus accusées sur ceux des *creeps* qui ont mis des mois ou des années pour se produire. Cela nous autorise à conclure que des changements semblables ont pu avoir lieu, sur une plus large échelle, dans la croûte de la terre, par des affaissements partiels et graduels, spécialement sur les points où le sol a été miné pendant de longues périodes, et nous devons nous garder d'admettre trop précipitamment que les mouvements se seraient produits avec une soudaine violence, simplement de ce que la contorsion des lits serait excessive.

Entre les lits de schiste argileux qui accompagnent la houille, on rencontre quelquefois des feuilles de fougères fossiles, arrangées aussi régulièrement que des plantes sèches entre les feuilles de papier d'un herbier. Ces feuilles de fougères, ou frondes, lorsqu'elles se déposèrent primitivement, durent s'étaler horizontalement sur le limon mou; si aujourd'hui elles sont, ainsi que les lits de schiste argileux, inclinées ou placées sur leur tranche, ce ne peut être que par l'effet d'un dérangement subséquent. La preuve en devient frappante lorsque ces couches, renfermant des débris de végétaux, se courbent, se recourbent à plusieurs reprises, ou se replient sous forme de Z, de telle sorte que l'on peut traverser un grand nombre de fois la même couche de houille dans le même puits perpendiculaire. C'est ainsi que, dans le

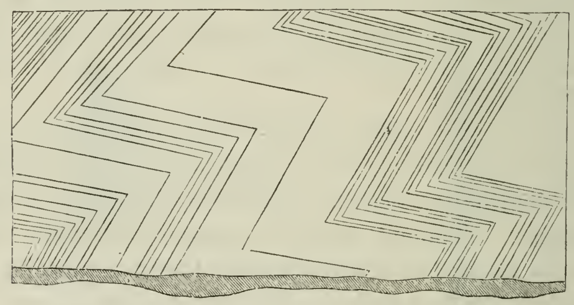


Fig. 67. — Flexions en zigzag de la houille, près de Mons.

bassin houiller, près de Mons, en Belgique, ces plis en zigzag se répètent quatre ou cinq fois, comme le fait voir la figure 67, où les lignes noires représentent les lits de houille (1).

Plongement et direction. — Dans les remarques qui précèdent, nous avons employé quelques termes techniques, tels que *plongement*, *stratification discordante*, *lignes anticlinales* et *synclinales*, *direction* des couches; donnons, sur ces termes, quelques explications. Lorsqu'une couche ou lit de roches, au lieu d'être parfaitement horizontale, incline plus ou moins, on dit qu'elle *plonge;* le point de la

(1) En voir le plan par M. Chevalier, d'Aubuisson, et Burat, t. II, p. 334.

boussole vers lequel elle est inclinée se nomme *point de plongement*, et le nombre de degrés dont elle s'écarte de la ligne horizontale s'appelle *quantité du plongement* ou *angle d'inclinaison*. Ainsi, dans le diagramme ci-contre (fig. 68), on voit l'inclinaison d'une série de couches plongeant au nord sous un angle de 45°. La *direction* ou ligne de gisement est le prolongement ou l'extension des couches dans une direction perpendiculaire au plongement; de là son nom. Par exemple, dans le cas ci-dessus, où les couches plongent au nord, la direction doit être nécessairement est et ouest. Les Anglais ont emprunté aux géologues allemands, le mot *strike*, par lequel ils désignent la direction : *streichen* signifie s'étendre, avoir une certaine direction. On peut se faire une idée très-juste de ces deux termes, *plongement* et *direction*, en se figurant une rangée de maisons allant de l'est à l'ouest. La longueur du faîte du toit représenterait la direction de la couche d'ardoises, dont le plongement serait, d'un côté au nord, et de l'autre au sud.

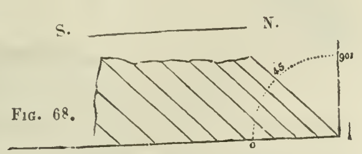


FIG. 68.

Une couche qui est horizontale ou de niveau dans toutes les directions n'a ni plongement ni direction.

Il sera toujours important pour le géologue qui cherche à comprendre la structure et la conformation d'un pays, d'étudier le plongement des couches dans chaque partie de son territoire ; il faut quelque pratique, toutefois, pour éviter de commettre des erreurs, tant sur le point du plongement que sur l'angle d'inclinaison.

Si la surface d'une couche de pierre dure se trouve à découvert, soit dans une carrière, soit au pied d'un rocher battu par les vagues, il est facile de déterminer vers quel point de la boussole la pente est le plus rapide, ou dans quelle direction l'eau viendrait à couler, si l'on en versait à la surface. C'est là le véritable plongement. Mais les tranches de couches fortement inclinées peuvent produire des lignes

parfaitement horizontales, sur la face d'une roche verticale, si l'observateur voit ces couches suivant la ligne de leur direction, le plongement se dirigeant en arrière de la tranche de l'escarpement; il faut alors qu'il découvre, dans le rocher, une rupture qui soit une section exactement perpendiculaire à la ligne de direction, pour reconnaître le véritable plongement. Dans le dessin qui suit (fig. 69), nous supposons un cap dont



Fig. 69. — Horizontalité apparente des couches inclinées.

un côté fait face au nord, et où les lits paraîtraient horizontaux aux yeux d'une personne qui serait placée à distance dans un bateau, tandis que, de l'autre côté faisant face à l'ouest, un observateur placé sur le rivage verrait le véritable plongement sous un angle de 40°. Si donc nous avons, pour tout champ d'étude, un escarpement vertical qui ne présente qu'un seul côté, il faudra tâcher de découvrir quelque lambeau ou portion de plan de l'un des lits qui s'avance au delà des autres, afin de nous assurer du véritable plongement.

L'observateur qui ne serait pas pourvu d'un *clinomètre*, instrument précieux, lorsqu'il importe de déterminer avec précision l'angle d'inclinaison des couches, pourrait mesurer cet angle, à quelques degrés près, de la manière suivante. On se place en face du rocher qui présente le véritable plongement; on élève les mains à la hauteur des yeux, et l'on tient les doigts de l'une d'elles dans une position perpendiculaire, et ceux de l'autre

dans une position horizontale, comme on le voit dans la figure 70. Il est facile alors de découvrir si les lignes des lits inclinés coupent en deux l'angle de 90° formé par la rencontre des mains, de manière à donner un angle de 45°, ou bien si elles divisent l'espace en deux parties plus ou moins égales. La ligne pointillée, supérieure, peut figurer une couche plongeant au nord ; si les lits plongent précisément vers un point opposé de la boussole, comme l'indique la ligne pointillée inférieure, la mesure de l'inclinaison peut être prise au moyen des mains avec tout autant de facilité.

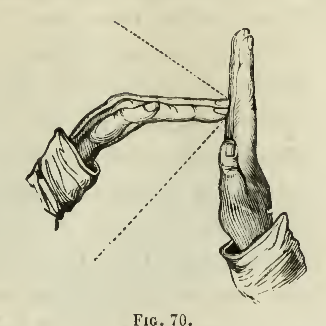


Fig. 70.

Lorsque nous avons décrit les couches courbées de la côte est de l'Écosse, dans le Forfarshire et le Berwickshire, on a vu qu'une série de courbures concaves et convexes pouvaient occasionnellement se répéter plusieurs fois. Elles forment ordinairement une série de flexuosités parallèles qui se pro-

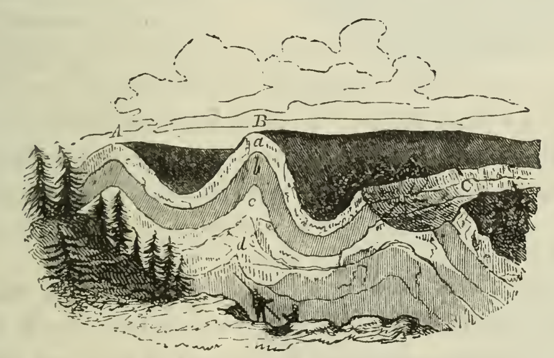
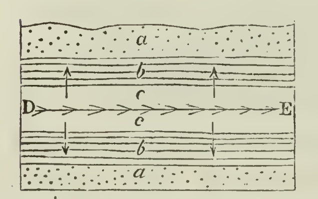


Fig. 71. — Coupe montrant la structure du Jura Suisse.

longent dans la même direction sur une étendue considérable. Ainsi, pour le Jura Suisse, on a prouvé que cette chaîne élevée se compose de crêtes parallèles, séparées par des vallées longitudinales (fig. 71). Ces crêtes sont formées

de couches fossilifères recourbées, dont la nature et le plongement se voient quelquefois dans des gorges profondes et transversales, nommées *cluses*, qui ont été produites par des fractures perpendiculaires à la direction de la chaîne (1). Supposons maintenant que ces crêtes et ces vallées parallèles courent du nord au sud, nous dirons que la *direction* des couches est nord et sud, et le plongement est et ouest. Les lignes tracées le long des sommets A et B seront des lignes anticlinales, et celle qui suit le fond des vallées voisines sera une ligne synclinale. Nous ferons observer que quelques-uns de ces sommets A, B, sont entiers, tandis que l'un d'eux, C, a été fracturé le long de la ligne de direction, et que la dénudation en a fait disparaître une partie, de sorte que les crêtes des lits, dans les formations *a*, *b*, *c*, ont été mises à découvert, ou, comme disent les mineurs, *affleurent* sur les côtés de la vallée. On peut expliquer par un diagramme (fig. 72) le plan d'une des crêtes dénudées, tel qu'on le représenterait dans une carte géologique, et sa section en travers (fig. 73). La ligne DE (fig. 72) est la ligne anticlinale de chaque côté de laquelle le plongement a lieu dans une direction opposée, comme les flèches l'indiquent. L'émergence des couches à la surface du sol a reçu des mineurs le nom d'*affleurement*, et en anglais celui de *basset*.



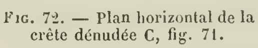

Fig. 72. — Plan horizontal de la crête dénudée C, fig. 71.

Fig. 73. — Coupe transversale.

Si, au lieu d'être plissés en crêtes parallèles, les lits présentaient une protubérance en forme de bosse ou de dôme, si nous supposions aussi que le sommet de ce dôme eût disparu, un plan de ce cas particulier ferait voir les bords des couches formant une succession de cercles ou d'ellipses autour

(1) Voyez l'ouvrage de M. Thurmann, *Essai sur les Soulèvements Jurassiques du Porrentruy*. Paris, 1832. — J'ai examiné une partie de ces montagnes, en 1835, en compagnie de l'auteur.

d'un centre commun. Ces cercles seraient les lignes de direction, et le plongement, étant toujours perpendiculaire à la direction, inclinerait tout autour du circuit vers tous les points de la boussole, constituant ainsi ce que les géologues anglais nomment *quaquaversal dip*, c'est-à-dire plongement vers tous les points de l'horizon.

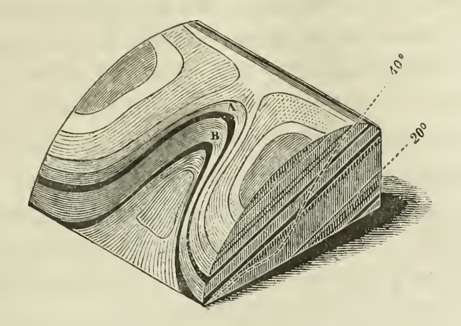


FIG. 74. — Inclinaison d'une vallée à 40°, plongement des couches à 20°.

Il y a des variations sans nombre dans les figures que décrivent les affleurements des couches, suivant leurs différentes inclinaisons et le mode de dénudation qu'elles ont subi. L'un des cas les plus élémentaires et qui se rencontre le plus souvent est celui de la forme de V que présentent les couches qui affleurent dans une vallée ordinaire. D'abord, si les couches sont horizontales, la disposition en forme de V sera aussi horizontale, et les couches les plus récentes seront les plus culminantes.

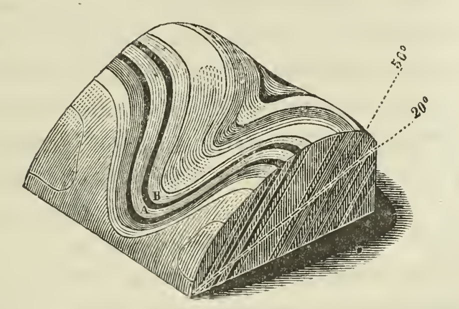


FIG. 75. — Inclinaison d'une vallée à 20°, plongement des couches à 50°.

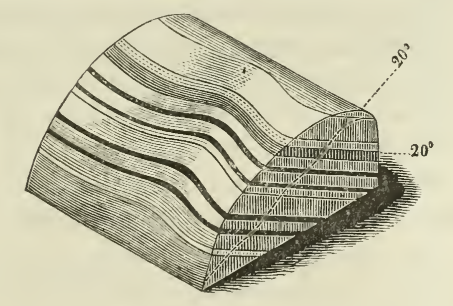


FIG. 76. — Inclinaison d'une vallée à 20°, plongement des couches à 20°; les directions sont opposées.

En second lieu, si les lits sont inclinés et coupés par une vallée descendant dans la même direction, et si le plongement des lits est moins grand que l'inclinaison de la vallée, les V, comme les appellent souvent les mineurs, viendront joindre vers le haut (fig. 74) ceux qui, formés par les couches les plus récentes, occupent une position supérieure et s'étendent plus haut dans la vallée, comme on le voit dans la figure où A est au-dessus de B.

En troisième lieu, si les couches sont plus inclinées que la vallée, les V pointeront vers le bas (fig. 75), et ceux qui sont formés par les couches les plus anciennes paraîtront supérieurs, ainsi qu'on le voit dans la figure où B est au-dessus de A.

Enfin, quand les couches plongeront dans une direction contraire à la pente générale de la vallée, quel que soit le degré d'inclinaison, les couches les plus récentes paraîtront les plus élevées, comme dans le premier et le second cas. La dernière hypothèse est représentée par la figure 76 dans laquelle des couches se dressent sous un angle de 20°, et sont traversées par une vallée qui incline dans une direction opposée, sous un angle de 20° (1).

Ces règles peuvent souvent offrir une très-grande utilité pratique, car on peut rencontrer les différents degrés d'inclinaison que nous avons représentés dans les figures 74 et 75, en suivant la même ligne de flexion sur des intervalles distants de quelques kilomètres les uns des autres. Un mineur qui ne serait point familier avec tous ces accidents, et qui aurait d'abord exploré la vallée (fig. 74), pourrait creuser un puits vertical au-dessous du lit de houille A, jusqu'à la rencontre du lit inférieur B. Il passerait alors à la vallée (fig. 75), et découvrant là encore l'affleurement de deux lits

(1) Je dois à la bonté de M.-T. Sopwith, Esq. les trois modèles que j'ai copiés dans les figures ci-dessus ; mais l'élève ne trouvera pas ces copies aussi faciles à comprendre que s'il pouvait examiner et manier les originaux, et les retourner dans tous les sens ; il en comprendrait mieux les indications, ainsi que celles d'autres modèles beaucoup plus compliqués, que le même ingénieur a construits pour démontrer les *failles*.

de houille, il s'exposerait à commencer des travaux dans le lit supérieur, avec l'espoir d'arriver inférieurement à l'autre lit A, dont il aurait observé l'affleurement plus bas dans la vallée. Un seul coup d'œil jeté sur la section fait voir l'erreur dans laquelle il tomberait.

Dans la majorité des cas, un axe anticlinal forme une crête, et un axe synclinal une vallée (A, B, fig. 62, p. 79); mais il y a quelques exceptions à cette règle, car les couches inclinent quelquefois vers l'intérieur, aux deux côtés d'une montagne (fig. 77).

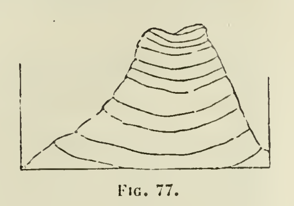


FIG. 77.

En suivant l'une des crêtes anticlinales du Jura, dont il a été question précédemment (ABC, fig. 71), on aperçoit souvent des ruptures longitudinales et quelquefois de larges fissures, vers les points où la flexion est le plus considérable. Quelques-unes de ces solutions de continuité ont été converties, par la dénudation, en vallées d'une grande étendue (C, fig. 71) qui suivent la ligne générale de direction, et sont supposées avoir été produites à une époque où les roches étaient encore au-dessous du niveau de la mer, ou peut-être à celle de leur émergence graduelle du fond des eaux. L'existence de ces ruptures, au point où la courbure des couches solides de calcaire est le plus aiguë, est toute naturelle; mais l'absence, dans quelques cas, de traces semblables de rupture, même sur les points où la flexion a été le plus forte, comme en *a* (fig. 71), n'est pas toujours facile à expliquer. Il faut supposer que plusieurs couches de calcaire, de *chert*, ou d'autres roches, qui sont maintenant cassantes, étaient flexibles lorsqu'elles ont été pliées sous leur forme actuelle. Elles ont pu devoir leur flexibilité, en partie à la matière fluide qu'elles contenaient dans leurs pores les plus ténus, comme nous l'avons expliqué ci-devant (p. 57), et en partie à l'imbibition de leur masse par l'eau de mer, à une époque où elles étaient encore submergées.

A l'extrémité occidentale des Pyrénées, on remarque de grandes courbures de couches, dans des falaises qui sont composées de marne, de grès et de *chert*. Sur certains points, comme en *a* (fig. 78), quelques-unes des courbures

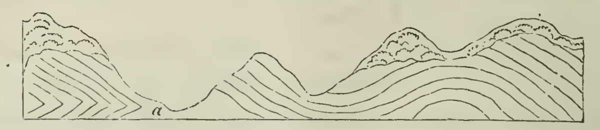


FIG. 78. — Couches de chert, de grit (grès grossier) et de marne, près de Saint-Jean-de-Luz.

de chert siliceux sont si aiguës, que l'on en tire des dalles infléchies servant de tuiles pour couvrir le faîte des toits. Bien que, au moment où il fut amené à cet état de plissement, le chert n'ait pu être aussi rigide qu'aujourd'hui, il présente néanmoins, çà et là, aux points de la plus grande flexion, de petites crevasses qui démontrent qu'il était déjà quelque peu solide à l'époque de son déplacement. Ces crevasses ne sont pas vides, mais remplies de calcédoine et de quartz.

Entre San-Caterina et Castrogiovanni, en Sicile, on rencontre des marnes gypseuses courbées et ondulées, contenant çà et là des lits minces de gypse solide interstratifiés. Quelquefois ces lits ont été brisés en fragments détachés qui conservent leurs bords aigus (*g*,*g*, fig. 79), tandis que la continuité des marnes, plus souples et plus ductiles, *m*, *m*, n'a pas été interrompue.

FIG. 79. — *g*. Gypse. — *m*. Marne.

Je terminerai mes remarques sur les couches recourbées, en observant que, dans les régions montagneuses comme les Alpes, il est souvent difficile, même à un géologue expérimenté, de déterminer positivement l'âge relatif des lits par la superposition, les couches étant repliées inférieurement sur elles-mêmes, et les parties supérieures de la courbure ayant disparu par les effets de la dénudation. Si donc, on rencontrait

des couches comme celles représentées dans la section (fig. 80), on pourrait supposer qu'il a existé douze lits distincts, dont le n° 1 serait le plus nouveau, et le n° 12 le plus

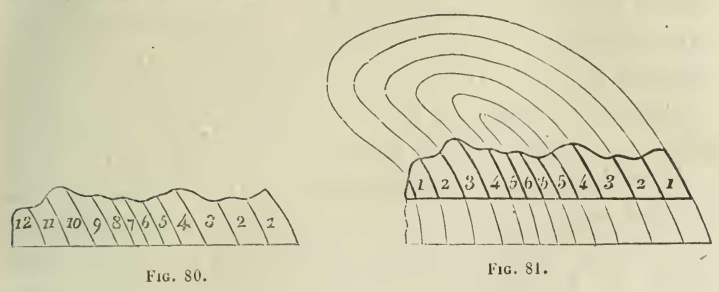


FIG. 80. FIG. 81.

ancien. Mais, en réalité, il a pu ne s'en trouver que six qui ont été pliés, comme le fait voir la figure 81, de telle sorte que chacun se présente deux fois ; la moitié de ces lits est renversée, et, dans cette moitié, le n° 1, qui était originairement au sommet, occupe maintenant le point le plus bas dans la série. On observe souvent, et sur une grande

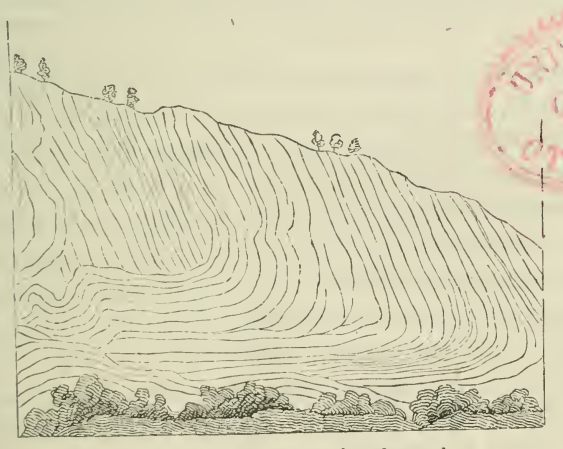


FIG. 82. — Couches recourbées des Alpes Iselten.

échelle, ces sortes de phénomènes dans certaines régions de la Suisse, sur des escarpements qui ont de 600 à 900 mètres de hauteur perpendiculaire.

Dans la vallée de Lutschine, entre Unterseen et Grindelwald, Alpes Iselten (fig. 81), on voit des couches contournées de schiste calcaire qui ont de 300 à 400 mètres de hauteur, et dont les lits plongent quelquefois verticalement jusqu'à une profondeur de 300 mètres et plus, avant de se recourber de nouveau (fig. 82). On remarque d'autres courbures qui ne le cèdent en rien, par leurs dimensions, aux précédentes, près de Gavarnie, au pied du Mont Perdu, dans les Pyrénées.

Stratification discordante. — On dit des couches qu'elles sont discordantes quand une série est placée sur une autre série, de telle sorte que le plan de la partie supérieure repose sur la tranche de la partie inférieure (fig. 83). Dans

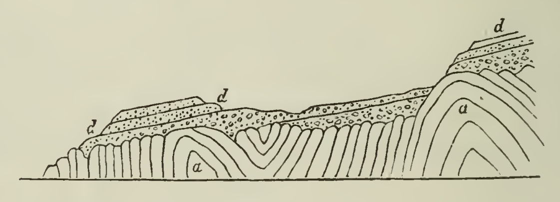


FIG. 83. — Jonction discordante de vieux grès rouge et de schiste Silurien à Siccar-Point, près de Saint-Abb's Head, Berwickshire. Voyez aussi le frontispice.)

ce cas, il est évident qu'une période quelconque s'est écoulée entre la formation des deux séries, et que durant cet intervalle, la plus ancienne ayant été bouleversée, la série supérieure s'est ensuite déposée sur la précédente en couches horizontales. Si les lits supérieurs *d*, *d*, (fig. 83) sont également inclinés, il est clair que les couches inférieures *a*, *a*, ont été déplacées deux fois ; d'abord, avant le dépôt des lits nouveaux *d*, *d*, ensuite, à l'époque où ces lits ont été rejetés eux-mêmes de leur position horizontale.

Playfair a remarqué (1) que cette sorte de stratification avait déjà été décrite avant le temps de Hutton, mais que ce savant a, le premier, apprécié son importance pour la démonstration de la haute antiquité et des grandes révolutions du globe. Hutton avait observé que, partout où ces

(1) *Biographical account of Dr Hutton.*

contacts avaient lieu, les lits inférieurs de la nouvelle série consistaient généralement en brèches ou conglomérats composés de fragments angulaires et arrondis, provenant de la destruction de roches plus anciennes. Un jour, le géologue Écossais conduisit ses deux illustres élèves Playfair et Sir James Hall aux falaises situées sur la côte orientale d'Écosse, près du village de Eyemouth, non loin de Saint-Abb's Head, à un point où les schistes de la chaîne de Lammermuir sont minés vers leur base et déchiquetés par la mer. Les couches infléchies et verticales, que l'on sait maintenant appartenir au Silurien, et qui montrent souvent une surface ondulée, se voient très-bien au cap appelé Siccar-Point ; leurs tranches pénètrent dans des lits sus-jacents d'un grès légèrement incliné, dans lequel de grands morceaux de schiste, les uns arrondis et d'autres angulaires, sont unis par un ciment arénacé. « Quelle preuve plus évidente, s'écrie Playfair, de la formation distincte de ces roches, et du long intervalle qui a séparé les deux formations, que celle que nous donnent ces roches aujourd'hui sorties du fond des abîmes ? Nous nous trouvons nécessairement transportés en arrière vers le temps où le schiste sur lequel nous reposons était encore au fond de la mer, et où le grès qui se montre à nos yeux commençait à se déposer dans les eaux de l'Océan, sous forme de sable et de sédiment. Une époque encore plus reculée apparaît naturellement à notre imagination, c'est celle où, même les plus anciennes de ces roches, au lieu d'être en lits verticaux, étaient étendues horizontalement au fond de la mer et n'avaient pas encore été agitées par cette force incommensurable qui a bouleversé toutes les parties solides du globe. Des révolutions de plus en plus éloignées se déroulent dans cette immense perspective ; notre esprit est frappé de vertige lorsqu'il plonge aussi loin dans l'abîme du temps ; et, tandis que nous écoutons avec avidité et admiration le philosophe qui développe devant nous l'ordre et les séries de ces immenses événements, nous nous apercevons combien, dans

l'interprétation des phénomènes, la raison peut aller plus loin encore que l'imagination (1). »

Au frontispice de ce volume, nous avons donné une vue de cet endroit classique, réduite d'après un grand tableau magnifiquement peint d'après nature, par le plus jeune fils de Sir James Hall. Il a été impossible de rendre exactement, par une gravure, la peinture originale, car le contraste du grès rouge et de la couleur fauve clair des schistes verticaux ne pouvait être reproduit. Du point de vue choisi, les lits au-dessous des schistes perpendiculaires, *a*, sont visibles en *b* par une petite ouverture qui existe à travers les lits fracturés du grès rouge superposé, *dd*, tandis que, sur le côté vertical du schiste ancien, *a' a''*, on observe de remarquables ondulations.

Il arrive souvent que, durant l'intervalle qui s'écoule entre le dépôt de deux groupes de couches discordantes, la roche inférieure a été non-seulement dénudée, mais encore perforée par des coquilles. Ainsi, à Autreppe et à Gusigny, près de Mons, on voit des lits anciens de calcaire (primaire ou paléozoïque) fortement inclinés et souvent recourbés, qui sont couverts de couches horizontales de marnes verdâtres et

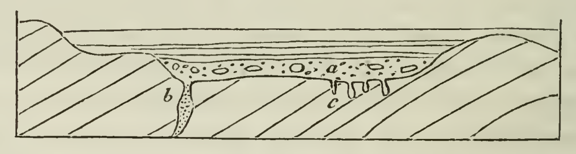


Fig. 84. — Jonction de couches discordantes, près de Mons, en Belgique.

blanchâtres de formation Crétacée. Le lit inférieur, et conséquemment le plus ancien de la série horizontale, est ordinairement formé de sable et de conglomérat, *a*, dans lesquels se trouvent des galets de 25 à 30 centimètres de diamètre. Ces galets présentent souvent des coquilles qui adhèrent à leur surface, ou bien ils ont été percés par des

(1) Playfair, *Biogr. Acc. of Dr Hutton.* Voyez ses Œuvres, Edin., 1822, vol. IV, p. 81.

mollusques perforants. La couche superficielle du calcaire inférieur a été également trouée, et montre des cavités cylindriques en forme de poires, comme dans *c* (fig. 84); ces cavités ont été produites par les mollusques saxicaves. Diverses fissures, comme en *b*, qui descendent à plusieurs décimètres ou même à quelques mètres dans le calcaire, ont été remplies aussi de sable et de coquilles semblables à celles qui se trouvent dans la couche *a*.

Fractures des couches et failles. — On observe souvent de nombreuses crevasses dans des roches qui paraissent n'avoir été que fracturées, et dont les parties séparées conservent leurs rapports mutuels; mais on rencontre aussi fréquemment telle fissure de plusieurs centimètres, ou même de plusieurs mètres de longueur, qui est remplie de terre et de sable ou de fragments angulaires, provenant évidemment des rochers contigus.

Il n'est pas rare non plus de trouver une masse rocheuse qui chevauche sur l'un des côtés d'une fissure, au-dessus ou au-dessous de la masse avec laquelle elle était autrefois en contact régulier. Ce déplacement se nomme *glissement* ou *faille*. «Le mineur, dit M. Playfair, en décrivant une *faille*, est souvent embarrassé, dans son voyage souterrain, par un dérangement dans les couches, qui le met tout à coup en déroute au milieu des jalons et supports qui avaient jus-

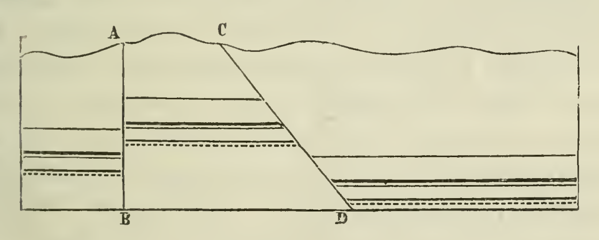


FIG. 85. — Failles : AB, perpendiculaire; CD, oblique à l'horizon.

que-là dirigé sa course. Quand la mine qu'il a pratiquée parvient à un certain plan perpendiculaire comme dans AB (fig. 85), ou oblique à l'horizon comme dans CD (fig. 85),

il rencontre des lits divisés; ceux de l'un des côtés du plan ont changé de place, en glissant, suivant une direction particulière, contre les autres lits. Malgré ce mouvement, les lits ont quelquefois conservé une position normale, comme dans la figure 85, et les couches de chaque côté des failles AB, CD, se continuent parallèlement les unes aux autres; dans d'autres cas, les couches se sont inclinées de chaque

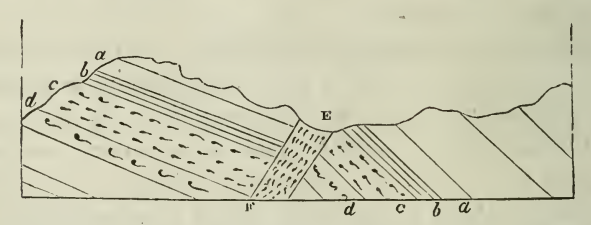


Fig. 86. — EF, faille ou fente remplie de débris, de chaque côté de laquelle les couches inclinées ne sont point parallèles.

côté, comme dans *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 86), et cependant leur identité est encore reconnaissable, car elles possèdent la même épaisseur et les mêmes caractères intérieurs (1). »

A Coalbrook-Dale, dit M. Prestwich (2) des dépôts de grès, de chiste argileux, de houille, qui s'élèvent sur une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, et s'étendent sur une surface de plusieurs kilomètres, ont été brisés en fragments qui ont été ensuite poussés dans des positions tout à fait discordantes, et souvent à des niveaux qui diffèrent de plusieurs centaines de mètres les uns des autres. Les côtés des failles, lorsqu'ils sont perpendiculaires, sont habituellement séparés de plusieurs mètres, quelquefois de plus de 40 mètres chacun, et les intervalles sont remplis des débris de couches fracturées. En suivant la direction d'une faille, on remarque parfois, en différents endroits, des variations très-inégales de niveau : la différence est, sur tel point, de 90 mètres, sur tel autre de 210 mètres; ces variations proviennent, dans quelques cas, de la jonction de deux ou plu-

(1) Playfair, *Illust. of Hutton Theory*, § 42.
(2) *Geol. Trans*, 2e série, vol. V, p. 452.

sieurs failles. En d'autres termes, les couches disjointes ont été, dans certains districts, soumises à des mouvements répétés qu'elles n'ont point subis ailleurs.

On rencontre, dans certaines carrières de sable meuble et de gravier, des exemples de glissements tout à fait semblables, quoique sur une plus petite échelle. La plupart ont été occasionnés par le desséchement et la contraction de couches argileuses et autres, et de légers affaissements sont résultés du défaut de support ; quelques-uns, cependant, ont pu se produire pendant les tremblements de terre, car le sol a été agité, et son niveau, relativement à celui des mers, a changé considérablement durant la période où s'est déposée une grande partie du sable et du gravier d'alluvion qui recouvrent aujourd'hui la surface des continents.

J'ai déjà montré que, dans un pays où les couches sont bouleversées, le géologue devait bien se garder de considérer comme des alternances répétées de roches la disposition de certaines couches, jadis continues, mais qui ont été recourbées de manière à revenir plusieurs fois avec le même plongement et avec la même coupe. La présence d'une série de failles a souvent occasionné de semblables erreurs ; avec un peu d'expérience, il sera facile de les éviter.

Supposons, par exemple, que la ligne AH (fig. 87) repré-

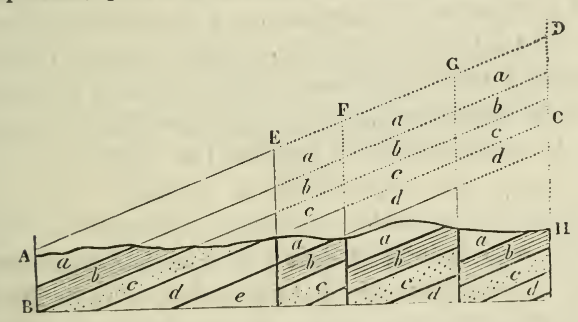


FIG. 87. — Alternances apparentes de couches, dues à des failles verticales.

sente la surface d'un pays où les couches A, B, C, affleurent à de fréquents intervalles ; un observateur, s'il s'avance de

H vers A, pourra s'imaginer d'abord qu'il rencontre à chaque pas des couches nouvelles, tandis qu'il y a seulement une répétition des mêmes lits, causée par des affaissements ou failles verticales. Admettons qu'à l'origine, la mase ABCD ait été une suite de couches inclinées, et que les différentes masses sous EF, FG et GD, se soient affaissées successivement, de manière à laisser vides les places marquées par les lignes ponctuées et à remplir celle qui sont indiquées par les lignes pleines, mais faiblement marquées. Admettons ensuite qu'une dénudation se soit opérée le long de la ligne AH, de telle sorte que les masses représentées par les lignes plus faibles aient disparu ; un mineur qui n'aura pas aperçu les failles, pourra s'imaginer, en rencontrant la masse *a* (que nous supposerons être un lit de charbon se répétant quatre fois) qu'il a trouvé quatre lits exploitables jusqu'à une profondeur indéfinie ; mais, dès qu'il arrivera à la faille G, il se trouvera soudainement arrêté dans ses travaux ; il ne rencontrera plus que des couches de grès *c;* en atteignant la ligne de faille F, il se placera en partie sur le schiste *b*, et en partie sur le grès *c;* enfin, en arrivant à E, il sera encore arrêté par le mur de la roche *d*.

Les différences de niveau que présentent les parties séparées des mêmes couches, sur les côtés d'une faille, sont vraiment quelquefois extraordinaires. L'un des cas les plus célèbres, en Angleterre, est sans contredit, celui que l'on nomme le *ninety fathom dyke* dans le district houiller de Newcastle. On lui a donné ce nom, parce que les lits correspondants sont de quatre-vingt-dix brasses (164 mètres) plus bas au nord qu'au sud. L'intervalle de la fissure a été comblé par un amas de sable qui, passé maintenant à l'état de grès, a reçu le nom de *dyke ;* ce dyke, généralement très-étroit, a cependant, sur certains points, plus de 20 mètres de largeur (1). Les parois de la faille sont sillonnées de rainures telles qu'auraient pu en produire des frag-

(1) Conybeare and Philips, *Outlines*, etc., p. 376.

ments de roche fortement frottés le long des plans de la fissure (1).

Dans les failles de Tynedale et de Craven, au nord de l'Angleterre, le déplacement vertical a été plus considérable ; la fracture s'est propagée horizontalement jusqu'à une distance de 45 kilomètres et plus. Quelques géologues ont imaginé que le mouvement vers le haut ou vers le bas se serait accompli d'un seul coup, et non par une suite de chocs subits et interrompus. Cette idée semble déduite de ce que les rainures suivent une seule direction. Mais ce fait est si loin d'être constant dans les failles, que l'on a souvent objecté à la théorie adoptée pour ces surfaces polies nommées *surfaces de glissement* (*slickensides*), que les stries n'étaient pas toujours parallèles, mais qu'elles étaient souvent courbes et irrégulières. De plus, on a remarqué que non-seulement les parois, mais aussi le contenu terreux de la faille, présentaient parfois les mêmes surfaces polies et striées. Or, ces circontances semblent indiquer des changements partiels dans la direction du mouvement et dans certains glissements qui ont suivi le premier remplissage de la fissure. Supposez la masse de roche ABC (fig. 88) recouvrant l'espace vide considérable *de*, formé à une profondeur de plusieurs kilomètres, soit par

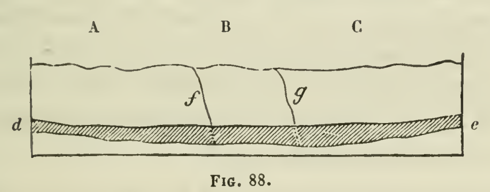


Fig. 88.

la contraction graduelle d'une matière fondue, liquéfiée dans son passage à l'état solide ou cristallin, soit par le retrait de couches argileuses, cuites sous l'influence d'une chaleur modérée, soit enfin par une soustraction de matière résultant d'une action volcanique ou de toute autre cause. Que des tremblements de terre viennent ensuite agiter ces régions,

(1) Philips, *Geology*, Lardner's Cyclop., p. 41.

les fissures *f*, *g*, et d'autres qui leur sont perpendiculaires, pourront séparer de A et de C, la masse B qui, libre de se mouvoir, commencera immédiatement à descendre dans l'espace vide *de*. On est certainement en droit d'admettre qu'une fracture soit assez nette et assez complète pour que la masse B puisse pénétrer d'un seul coup au fond de la cavité souterraine; mais il est bien plus probable qu'elle ne s'enfoncera que par intermittences et par suite de tremblements successifs; la masse continuera de glisser, dans la même direction, le long des parois des fissures *f*, *g*, et ses bords se briseront et se tritureront de plus en plus à chaque nouvelle convulsion. Si, comme cela n'est pas improbable, les circonstances qui ont occasionné la chute du support continuent leur action, il pourra bien se faire qu'une fois la cavité première remplie par la masse B, ses fondations s'écroulent de nouveau sous elle, et qu'elle descende encore dans la même direction. Mais, si cette direction venait à changer, on ne pourrait constater le fait par les *glissements*, parce que le dernier frottement aurait effacé les traces du frottement précédent. Dans l'ignorance où nous sommes actuellement des causes d'affaissement, une hypothèse qui, s'appuyant sur les principes rigoureux de la mécanique, peut rendre compte, par une succession de mouvements, des énormes déplacements observés dans quelques failles, est de beaucoup préférable à celle qui montre chaque faille comme le résultat d'une seule secousse ou d'un abaissement subit de plusieurs milliers de mètres.

Nous savons d'ailleurs qu'il se passe de nos jours, à de grandes profondeurs dans l'intérieur du globe, des actions par suite desquelles certaines étendues de terre s'élèvent au-dessus de leur premier niveau ou s'abaissent au-dessous, que ces phénomènes s'accomplissent, les uns lentement et insensiblement, les autres subitement et par secousses, à raison de quelques centimètres ou de quelques mètres à la fois; il n'y a donc aucune raison de penser que, pendant les trois mille ans, au moins, qui nous ont précédé, telles régions aient été

élevées ou abaissées d'un seul coup de plusieurs centaines et encore bien moins de plusieurs milliers de mètres.

Lorsque nous en serons à la description des formations marines anciennes, l'examen de leur structure et des corps organiques qu'elles contiennent (les fossiles appartenant souvent, d'une manière exclusive, aux genres et aux espèces des eaux peu profondes), nous fera reconnaître qu'à l'époque de leur origine, le lit de l'océan s'abaissait lentement. Ce mouvement d'abaissement a été tout à fait graduel, et, dans les Galles ainsi que dans les parties de l'Angleterre contiguës à ce dernier pays, il s'est formé une épaisseur de plus de 9 kilomètres de roches Carbonifères, Dévoniennes et Siluriennes, pendant que le lit de la mer s'abaissait tranquillement et d'une manière continue (1).

Quelle que soit la nature des changements que le sol a subis, que ces changements aient été accompagnés de fusion, de consolidation, de cristallisation ou de dessiccation des matières minérales sous-jacentes, il est incontestable que le fond de la mer, dont les eaux ont été constamment basses, n'a jamais baissé subitement de plusieurs centaines de mètres d'un seul coup.

C'est en tenant compte des variations répétées de niveau qui, considérées séparément, ont été d'une faible quantité, mais qui, multipliées par le temps, ont pu acquérir de l'importance dans leur ensemble, que nous parviendrons à comprendre les phénomènes de dénudation dont nous allons traiter dans le prochain chapitre. Par suite de ces mouvements, chaque portion de la surface de la terre, devenue tour à tour ligne de côtes, s'est trouvée exposée à l'action des flots et des marées. Une région soumise à ces sortes d'oscillations ne peut jamais arriver à un état complet d'équilibre, car l'action qu'exercent les rivières et les torrents pour remuer et excaver le sol et les masses rocheuses est incessante dans son énergie.

(1) Voyez les résultats du *Geological Survey of Great Britain*, Mémoires, vol. I et II, par Sir H. de la Bèche, Mr. A.-C. Ramsay et Mr. John Phillips.

CHAPITRE VI

DÉNUDATION.

Définition de la dénudation. — La quantité de dénudation égale la masse entière des dépôts stratifiés de la croûte terrestre. — Dénudation du grès horizontal, dans le Ross-shire. — Surface nivelée de certaines contrées où de grandes failles se rencontrent. — Coalbrook-Dale. — Pouvoir de dénudation de l'océan pendant l'émergence des terres. — Origine des vallées. — Oblitération des escarpements marins. — Falaises marines à l'intérieur des terres et terrasses, en Morée et en Sicile. — Piliers calcaires à Saint-Mihiel, en France — Au Canada — Aux Bermudes.

La dénudation, dont il a été accidentellement question dans les chapitres précédents, consiste en un déplacement de la matière solide par l'eau en mouvement (eau des fleuves, vagues et courants de la mer), et, par conséquent, dans la mise à nu de certaines roches inférieures. Les géologues ont peut-être tenu trop peu compte de cette action, dont l'influence sur la structure de l'écorce terrestre n'a pas été moins importante, moins universelle que la sédimentation même; car la dénudation contribue invariablement à la production de toutes nouvelles couches d'origine mécanique. La formation de chaque nouveau dépôt par le transport de sédiment et de cailloux roulés, prouve nécessairement qu'il s'est opéré, en tel ou tel endroit, une désagrégation de la roche, en fragments arrondis, sable ou limon, égale en quantité aux couches nouvelles. Tout dépôt donc, sauf le cas de formation par une pluie de cendres volcaniques, indique une désagrégation superficielle, se continuant de nos jours, sur un point quelconque, et ailleurs un accroissement correspondant. Le gain constaté d'un côté équivaut à la perte éprouvée de l'autre. Ici les eaux d'un lac ont baissé, là un ravin s'est profondément creusé; sur tel point le lit de la mer s'est élevé par accumulation de matières nouvelles, sur

tel autre sa profondeur a augmenté par suite de soustractions tout aussi considérables.

Un édifice éveille naturellement en nous l'idée de la carrière qui en a fourni les pierres ; eh bien ! les assises de cet édifice peuvent se comparer aux couches successives, et la carrière à un ravin ou à une vallée dénudée : si les couches sédimentaires ont été, comme les lits de pierres, déposées graduellement les unes au-dessus des autres, de même aussi l'excavation de la vallée et celle de la carrière ont eu lieu graduellement. Pour pousser encore plus loin la comparaison, assimilons les monticules de limon, de sable et de gravier, habituellement nommés *alluvium*, aux débris de carrières, rejetés comme inutiles par les ouvriers, ou qui, tombés sur la route entre la carrière et la construction, gisent dispersés çà et là sur le sol.

Si, donc, la masse des dépôts stratifiés dans la croûte terrestre peut servir à la fois de monument et de mesure de la dénudation qui s'est produite, sur quelle immense échelle ne doivent pas se présenter les traces de ce déplacement de matières ainsi transportées dans les âges anciens ! Différentes classes de phénomènes attestent, de la manière la plus frappante, l'étendue considérable des surfaces mises à nu par la force érosive de l'eau. Je citerai d'abord les vallées sur les deux versants desquelles les mêmes couches se suivent dans le même ordre, avec la même composition minéralogique et les mêmes fossiles. C'est ainsi que la figure 89 nous présente un exemple où plusieurs formations : n° 1, conglomérat ; n° 2, argile ; n° 3, grès ; n° 4, calcaire, se reproduisent dans une série de collines séparées par des vallées de profondeur variable.

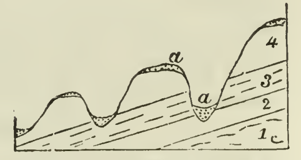


FIG. 89. — Vallées de dénudation.
a. Alluvion.

Lorsqu'on examine les parties subordonnées de ces quatre formations, on reconnaît dans chacune d'elles des lits distincts qui, par leur composition et par leur ordre, se cor-

respondent sur les côtés opposés des vallées. Sans aucun doute, ces couches ont été primitivement continues, et quelque cause a emporté les portions qui reliaient autrefois la série. Un torrent qui se précipite sur le versant d'une montagne produit de semblables solutions de continuité, et, lorsqu'on pratique des terrassements pour le nivellement des routes, on met à découvert des lits qui se correspondent ainsi de chaque côté des tranchées. La seule différence est que, dans la nature, ces phénomènes se produisent au sein de montagnes qui ont plusieurs milliers de mètres d'élévation, et qui sont séparées les unes des autres par des intervalles de plusieurs kilomètres d'étendue.

Le docteur Macculloch en a décrit un magnifique exemple sur la côte nord-ouest du Ross-shire, en Écosse (1). La roche fondamentale de cette contrées (fig. 90) est un gneiss, en couches disloquées, sur lesquelles reposent, en stratification

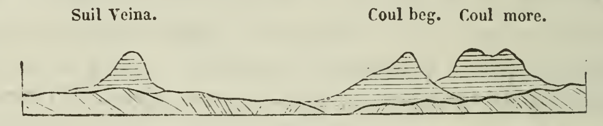


Fig. 90. — Dénudation du grès rouge, sur la côte nord-ouest du Ross-shire. (Macculloch.)

discordante, des lits presque horizontaux de grès rouge. Ces lits sont souvent très-minces, et forment de véritables nappes à surface distinctement ondulée. Ils se terminent d'une manière abrupte sur les flancs de plusieurs montagnes isolées qui s'élèvent jusqu'à 600 mètres au-dessus du gneiss de la plaine environnante, et jusqu'à 900 mètres au-dessus de la mer, hauteur à laquelle atteignent presque tous leurs sommets. Quant à l'élévation de la base du gneiss, elle varie assez pour que les portions inférieures du grès occupent différents niveaux. L'épaisseur de la masse est variable aussi, et dépasse quelquefois 900 mètres. Il est impossible de voir ces parties éparses et détachées, sans supposer que toute la contrée a été couverte autrefois d'une immense

(1) *Western Islands*, vol. II, p. 93, pl. 31, fig. 4.

enveloppe de grès, et que des masses épaisses de 300 à 900 mètres ont été emportées.

Dans le *Survey of Great Britain* (vol. I), le Professeur Ramsay a montré que les lits enlevés sur les sommets des collines du Mendips ont dû avoir près de 1500 mètres d'épaisseur. Il a signalé des espaces considérables, dans le sud du pays de Galles et dans quelques-uns des comtés adjacents d'Angleterre, où des séries de couches primaires (ou paléozoïques) qui n'avaient pas moins de 3350 mètres d'épaisseur, ont été complétement enlevées, et dont les débris transportés successivement vers de nouvelles régions, sont entrés dans la composition de formations plus modernes. D'un autre côté, il est démontré, dans le même ouvrage, que les couches paléozoïques ont de 6000 à 9000 mètres d'épaisseur. Évidemment, de telles roches, formées de limon et de sable, et maintenant en grande partie consolidées, sont les monuments d'actions dénudantes qui se sont produites sur une grande échelle, à une époque très-reculée de l'histoire de la terre. Or, tout ce qui s'est répandu sur une surface n'a pu être emprunté qu'à une autre surface ; c'est là une vérité dont l'évidence frappe les yeux, et qu'on ne saurait trop graver dans l'esprit de l'élève, bien qu'on admette, dans certains systèmes géologiques, que la croûte extérieure de la terre a toujours augmenté d'épaisseur par l'accumulation d'âge en âge de la matière sédimentaire, comme si les nouvelles couches n'étaient pas toujours produites aux dépens de roches préexistantes, stratifiées ou non stratifiées.

En réfléchissant mûrement sur ce fait, que tout dépôt d'origine mécanique implique le transport d'une quantité égale de matière solide provenant de quelque autre région, contiguë ou éloignée, on conçoit comment la croûte pierreuse de notre planète a dû, dans tous les temps, s'amincir sur tel point et augmenter d'épaisseur sur tel autre. Il est vrai que le vide laissé par les roches disparues après une profonde dénudation saisit moins l'imagination qu'une vaste épaisseur de conglomérat ou de sable, ou que la présence d'une chaîne

de montagnes avec toutes leurs couches inclinées et courbées; mais ces surfaces dénudées parlent à notre raison un langage qui a bien aussi sa clarté et son éloquence: et, de même que les lits répétés de nummulites, de coraux ou de coquilles fossiles, de même que les nombreux lits de houille reposant sur leur base d'argile remplie de racines d'arbres, encore dans leur position naturelle, de même les phénomènes de dénudation témoignent de l'infinité du temps employé à les produire.

Personne ne met en doute que les fossiles ensevelis dans toutes ces sortes de roches n'appartiennent à plusieurs générations successives de plantes et d'animaux. Chaque dépôt sédimentaire atteste donc également une action lente et graduelle, et les couches servent non-seulement à mesurer la quantité de dénudation effectuée dans le même temps sur un autre point, mais encore à indiquer avec exactitude l'étendue des surfaces dénudées.

Ce sont peut-être les surfaces unies des districts où l'on remarque de larges failles qui fournissent les témoignages les plus manifeste de dénudation sur une large échelle. J'ai montré (fig. 87 et 91) comment on avait pu rencontrer des masses angulaires de roches sur les surfaces placées immé-

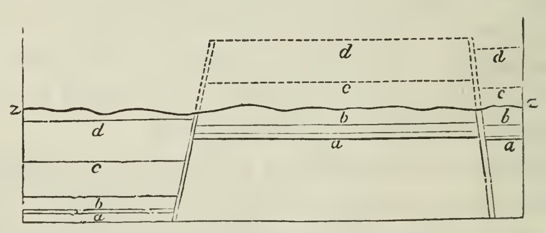


FIG. 91. — Failles et couches houillères dénudées, Ashby de la Zouch. (Mammatt.)

diatement au-dessus de grandes failles; bien qu'en réalité le fait se présente rarement, on peut cependant l'observer facilement dans certaines localités où la houille a été exploitée sur une vaste étendue, les rapports primitifs de couches qui ont changé de position pouvant y être déterminés avec une

grande exactitude. Prenons-en pour exemple le bassin houiller de Ashby de la Zouch, dans le Leicestershire (fig. 91) : on y voit une faille sur l'un des côtés de laquelle les lits de houille *a*, *b*, *c*, *d*, s'élèvent à la hauteur de 150 mètres au-dessus des lits qui leur correspondent de l'autre côté. On en pourrait conclure que les couches qui occupent le niveau supérieur font une saillie de 150 mètres au-dessus de la surface générale du pays ; il n'en est rien, et la ligne *zz* qui l'exprime prouve au contraire qu'elle est uniformément ondulée et sans aucune brisure; quant à la masse indiquée par la ligne ponctuée, elle a dû être emportée (1). On rencontre des exemples analogues dans quelques contrées plates, où des masses épaisses de couches ont été enlevées sur des étendues de plusieurs centaines de kilomètres carrés.

Dans le district houiller de Newcastle, on a constaté des failles dans lesquelles le mouvement d'élévation et d'abaissement n'a pas été moindre de 250 mètres; ces failles, si elles eussent affecté proportionnellement la configuration générale de la surface, auraient produit des montagnes avec des escarpements abrupts de près de 300 mètres d'élévation, ou des abîmes d'une égale profondeur, tandis que le niveau actuel de la contrée est resté tout à fait uniforme, et ne présente aucune trace de mouvements souterrains (2).

Le sol auquel ces matières ont été arrachées offre généralement, à sa surface, des monticules de sable et de gravier formés des débris des roches qui ont disparu. Dans les districts mentionnés plus haut, ces monticules sont composés de fragments anguleux ou arrondis de grès dur, de calcaire, de minerai de fer, de schistes friables en petite quantité, et même de morceaux de houille.

Il a déjà été question de la dislocation et de la discordance des couches carbonifères à Coalbrook Dale (page 100). Le mineur ne peut y avancer de trois ou quatre mètres sans rencontrer de petits glissements, et de temps à autre, des

(1) Voyez *Geological facts*, etc., par Mammatt, p. 90 et planche.
(2) *Report to Brit. Assoc.*, par Conybeare, 1842, p. 381.

failles considérables qui ont déplacé les roches de quelques centaines de mètres en hauteur ou en profondeur. Pourtant on ne distingue plus les inégalités superficielles auxquelles ces masses disloquées ont dû primitivement donner naissance, et l'état relatif de nivellement de la surface ne peut aujourd'hui s'expliquer, comme l'observe M. Prestwich, qu'en supposant un enlèvement des portions fracturées par les eaux. Il est clair aussi que les couches de grès rouge, d'une épaisseur de plus de 300 mètres, qui, dans le même pays, couvraient autrefois la houille, ont été emportées sur de larges surfaces. Que l'eau ait été l'agent de dénudation, nous ne saurions en douter, les roches ayant cédé proportionnellement à leurs différents degrés de dureté; le trapp dur du Wrekin et d'autres collines a, par exemple, résisté plus que les schistes ou les grès tendres, et subsiste encore aujourd'hui avec son relief primitif (1).

Origine des vallées. — Plusieurs anciens géologues, et parmi eux, le Docteur Hutton, ont pensé que *les rivières avaient en général creusé leurs propres vallées*. Cela est vrai, sans aucun doute, s'il est question des petits ruisseaux et des torrents qui alimentent d'importants cours d'eau, et qui, descendant sur des pentes rapides, sont très-sujets à des crues ou à des diminutions temporaires. On peut aussi admettre que la quantité de limon, de sable et de cailloux qui constitue un grand nombre de deltas modernes, est assez considérable pour attester qu'une très-légère portion des inégalités existant aujourd'hui à la surface de la terre est due à l'action fluviatile; mais les vallées principales, dans presque tous les grands bassins hydrographiques du monde, indiquent, par leur forme et leur étendue, qu'elles n'ont pu être produites par la seule force d'excavation des rivières.

Quelques géologues ont imaginé qu'un déluge, ou une succession de déluges pouvaient avoir été le principal agent de dénudation; ils ont admis une série de cataclysmes

(1) Prestwich, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. V, p. 422, 473.

occasionnés par des soulèvements instantanés de continents ou de chaînes de montagnes. Mais en accordant même que de tels soulèvements subits du fond de l'océan aient eu lieu, et en supposant que de grands cataclysmes aient été la conséquence de chaque convulsion, il n'est pas facile d'expliquer, à l'aide d'une hypothèse aussi gratuite, tous les phénomènes qui frappent nos regards.

Un tout autre ordre d'action paraît, d'ailleurs, avoir été capable de donner lieu à des effets aussi considérables. Nous avons établi précédemment que l'exhaussement ou l'abaissement de portions étendues de la croûte terrestre rentraient dans le cours actuel des choses, de quelque manière que ces phénomènes se soient passés, qu'ils aient été insensibles ou produits par secousses subites et répétées ; il nous est donc facile de comprendre comment la terre a été, pendant ces mouvements, entamée par les vagues de la mer. Tout comme les masses de montagnes qui, durant le cours des âges, peuvent avoir été formées couche par couche et par sédimentation, d'autres masses non moins volumineuses ont pu, dans le même temps, être entraînées millimètre par millimètre. Tel serait le cas, par exemple, où des lits de matières incohérentes se seraient élevés lentement dans une mer ouverte et exposée à de forts courants. On sait que certains courants de l'océan ont jusqu'à 300 kilomètres et plus de largeur, parfois une longueur de plusieurs milliers de kilomètres, et qu'ils conservent une rapidité considérable, même à la profondeur de quelques centaines de mètres. Dans de telles conditions, les eaux courantes peuvent avoir usé, emporté des couches de matières incohérentes, à mesure qu'elles s'élevaient et se rapprochaient de la surface où les vagues agissaient avec le plus de force ; des dépôts volumineux purent être aussi totalement entraînés, de telle sorte qu'en l'absence de faille, il n'existe plus aujourd'hui aucune preuve de dénudation. Il est donc permis d'affirmer que le travail de destruction a laissé d'autant moins de traces qu'il a été plus complet, car l'anéantissement de certaines masses a dû être

tel qu'on ne rencontre même plus les ruines des roches qui les composèrent jadis.

Bien que la dénudation ait eu pour résultat de niveler certaines régions composées de couches disloquées et brisées (fig. 87, p. 101 et fig. 91, p. 110), elle a plus habituellement produit des inégalités de surface, spécialement dans les contrées où la stratification est horizontale. La configuration générale de ces contrées est celle de plates-formes unies, interrompues par des vallées souvent d'une profondeur considérable, et qui se ramifient dans diverses directions. Ces anfractuosités ont dû former autrefois des baies et des chenaux entre des îles, et le plus abrupt des côtés de chaque vallée a dû être une falaise que les eaux ont minée pendant des siècles, dans le même temps où la terre émergeait graduellement du fond de l'océan. On peut supposer que la place et la direction de chaque dépression ont été primitivement déterminées par les différences de dureté des roches, et par les fissures et joints que l'on rencontre d'ordinaire, même dans les couches horizontales. Dans les chaînes de montagnes telles que le Jura (fig. 71), p. 89), on peut admettre que les vallées principales n'ont point été creusées par les eaux, mais qu'elles sont dues à ces mouvements mécaniques qui ont plié les roches sous la forme qu'elles présentent actuellement; cependant, on y voit des fonds tels que C (fig. 71) qui, évidemment, ont été creusés par l'eau. On peut donc établir que l'inégalité de la surface des terres doit, en général, être attribuée à l'action combinée des mouvements souterrains et de la dénudation.

Je récapitulerai maintenant quelques-unes des conclusions auxquelles nous sommes arrivés : d'abord, toutes les couches de formation mécanique se sont produites par une accumulation graduelle, et la dénudation concomitante n'a pas été moins graduelle elle-même ; en second lieu, la terre ferme d'aujourd'hui se compose, en grande partie, de couches formées primitivement au fond de la mer, et qui, après avoir émergé, ont atteint leur hauteur actuelle par l'effet d'une

force agissant d'en bas; en troisième lieu, pour rendre compte des dénudations étendues et graduelles, on ne saurait imaginer aucune combinaison de causes aussi efficace que l'action des flots et des courants de l'Océan sur une terre s'élevant lentement de ses profondeurs.

Si nous adoptons ces conclusions, nous serons naturellement conduits à chercher autour de nous des traces de l'ancien séjour de la mer sur la terre, spécialement près des côtes où s'est opérée la dernière retraite des eaux, et ces traces ne manqueront pas à nos observations.

J'aurai occasion de parler d'anciennes falaises aujourd'hui éloignées de la mer, au sud-est de l'Angleterre, lorsque je traiterai, Chapitre XIX, de la dénudation des roches de craie dans le Surrey, le Kent et le Sussex. Des lignes de rivages marins de date plus moderne, et qui dominent de 6 à 30 mètres le niveau de la mer actuelle, se montrent aussi sur des espaces très-étendus le long des côtes est et ouest de l'Écosse, ainsi que dans le Devonshire et dans d'autres comtés d'Angleterre. Ces anciennes lignes de rivage y forment souvent des terrasses de sable et de gravier, contenant des coquilles littorales dont quelques-unes sont brisées, d'autres entières, et qui correspondent à des espèces vivant encore aujourd'hui sur les côtes voisines. Mais il ne faut pas s'attendre à rencontrer partout des traces d'anciens rivages; aucun géologue n'ignore avec quelle promptitude s'altèrent, s'effacent même entièrement, les traces de ce genre partout où des modifications dans les courants et les marées ont déterminé la retraite de la mer depuis quelques siècles. Nous voyons des escarpements composés d'argile ou de sable se démanteler en peu d'années et se réduire à une pente insensible. S'il existe des coquilles sur le rivage, elles se décomposent; leurs éléments sont entraînés par les eaux, et bientôt les débris et le sable n'ont plus rien qui les distingue de toute autre alluvion de l'intérieur des terres.

Les traces d'anciens rivages disparaissent quelquefois, cachées par des arbres ou des buissons, ou bien par du sable

qu'amène le vent ; on en observe un bon exemple à quelques kilomètres ouest de Dax, près Bordeaux, dans le midi de la France. A 19 kilomètres environ vers l'intérieur du pays, on peut suivre une rive escarpée, dans la direction du nord-est au sud-ouest à peu près, ou parallèlement à la côte contiguë. Cet escarpement brusque, haut d'environ 15 mètres, conduit de la plate-forme supérieure des Landes à une plaine plus basse qui s'étend jusqu'à la mer (fig. 92).

Lorsque je visitai cette localité, la configuration du sol me suggéra l'idée que, à l'époque où la contrée entière occupait

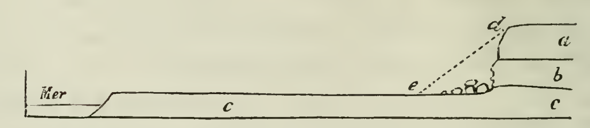


FIG. 92. — Coupe de falaise intérieure, à Abesse, près de Dax.
a. Sable des Landes. — *b*. Calcaire. — *c*. Argile.

un niveau inférieur, cette rive avait été une falaise marine. Mes conjectures se confirmèrent lorsque, dans le cours de 1830, en creusant le sol pour les fondements d'un édifice, à Abesse, on retira une grande quantité de sable meuble, formant la pente *de*, et l'on mit à découvert un escarpement perpendiculaire, d'environ 15 mètres de hauteur, qui avait été protégé jusqu'à ce moment contre l'action des éléments. Vers le bas, on rencontra un calcaire *b*, contenant des coquilles et des coraux tertiaires; immédiatement au-dessous de ce calcaire, l'argile *c*, et, sur le tout, le sable tertiaire ordinaire *a*, du département des Landes. A la base de ce précipice gisaient de grosses masses de roches, en partie arrondies, qui provenaient évidemment de la couche *b*. La tranche du calcaire était creusée et façonnée sous toutes les formes que l'on remarque dans les falaises calcaires de la côte voisine, spécialement à Biarritz, près Bayonne. Il est évident qu'à l'époque où cette contrée occupait un niveau un peu plus inférieur, la mer avançait sur la surface de la couche argileuse, *c*, et que cette couche favorisa, par sa

nature friable, la dégradation de la roche sus-jacente, plus solide, *b*. Par la suite, lorsque le sol vint à s'élever, une partie du sable *a* tomba, ou fut entraînée par les vents, et forma le talus *d e*, qui cacha l'escarpement intérieur jusqu'au moment où il fut mis à découvert.

Au nombre des causes diverses qui, dans le cours des âges, peuvent effacer les caractères d'un ancien rivage marin, il ne faut pas oublier les tremblements de terre. Durant les violentes secousses, des escarpements abruts et minés par le pied s'écroulent, et forment des monceaux de ruines. Quelquefois des mouvements inégaux d'ascension et d'abaissement détruisent entièrement cette horizontalité des lignes de base qui constitue le caractère dominant d'une ancienne falaise.

C'est principalement dans les pays où les calcaires durs abondent, que les escarpements intérieurs des terres conservent le mieux la physionomie qu'ils avaient lorsqu'ils constituaient des limites entre la terre et la mer. En Morée, par exemple, on observe jusqu'à trois, et même quatre, de ces lignes qui dénotent l'ancienne existence de rivages marins. Elles ont été décrites par MM. Boblaye et Virlet; on les voit s'élever au-dessus les unes des autres, à différentes distances du rivage actuel; la plus haute, qui est en même temps la plus ancienne, atteint parfois à plus de 300 mètres. A la base de chacune des lignes il existe habituellement une terrasse, large de quelques mètres sur certains points et de plus de 300 mètres sur d'autres, de telle sorte que, des parties les plus élevées de l'intérieur des terres, on est conduit vers la mer par une succession de gradins. Ces falaises intérieures sont bien tranchées et ressemblent exactement à celles que battent aujourd'hui les flots de la Méditerranée, dans les parages où elles sont formées de roche calcaire, et spécialement vers ceux où la roche est un marbre cristallin d'une certaine dureté. Voici les points de correspondance observés entre les anciennes lignes de côtes et les bords de la mer actuelle : — 1° Une rangée de précipices verticaux avec

une terrasse à leur base. 2° Une surface de roche nue, corrodée par les eaux, telle que les vagues de la mer en produisent de nos jours. 3° Une ligne de cavernes littorales, au pied des escarpements. 4° Une brèche consolidée, quelquefois avec coquilles marines, à la base des mêmes escarpements ou dans les cavernes. 5° Des perforations produites par les animaux lithophages.

Relativement au premier point, il serait superflu d'insister sur cette manifestation du pouvoir destructeur des vagues et courants, qui nous est fournie par les précipices verticaux. Les excavations littorales sont également bien connues des géologues qui ont eu l'occasion d'observer comment les flots de la mer creusent les cavernes. Quant à la brèche, elle est formée de fragments calcaires et de débris roulés de coquilles solides, épaisses, telles que *Strombus* et *Spondylus*, liés ensemble par un ciment calcaire cristallin. De semblables agrégats se forment journellement en Grèce, sur les bords modernes de la mer et dans les cavernes, le long des côtes ; on ne saurait les distinguer de ceux de formation plus ancienne, s'ils ne contenaient divers fragments de poteries. Quant aux perforations produites par les lithophages, on sait que ces mollusques bivalves ont la faculté singulière de creuser dans les calcaires les plus durs des cavités dont le diamètre augmente avec l'accroissement de la coquille. Pour que l'animal puisse vivre, il faut que les coquilles soient toujours couvertes par les eaux salées; or, de semblables cavités, en forme de poires, contenant des restes de coquilles, se montrent à différents niveaux dans les escarpements mentionnés ci-dessus. On en a observé près de Modon et de Navarin, à l'intérieur des terres, dans des falaises situées à une hauteur de 38 mètres au-dessus de la Méditerranée.

Indépendamment de l'altération bien connue que les roches calcaires éprouvent au contact de l'eau salée, et qui constitue une décomposition chimique, les falaises s'altèrent encore plus profondément vers leur base, où elles reçoivent

le brisement direct des vagues. Sous cette action, la surface de la roche, corrodée, sillonnée, devient extérieurement rugueuse et branchue comme si elle était couverte de coraux. De tels effets s'observent non-seulement sur les bords actuels, mais encore à la base des anciennes falaises, dans l'intérieur avancé des terres.

Il me reste à parler des terrasses qui s'étendent par une pente très-douce vers la mer, depuis la base de presque tout escarpement intérieur. Étroites, pour la plupart, lorsque la roche est dure, mais d'un demi-kilomètre ou plus lorsque la roche est tendre, elles sont l'effet de l'empiétement de l'ancienne mer sur le rivage, aux niveaux où la terre est restée pendant longtemps stationnaire. On ne saurait en douter lorsqu'on examine les formes d'un rivage actuel, partout où la mer empiète sur la terre, entraînant de petites portions de la roche qu'elle sape vers ses fondements. Cette action donne naissance à une plate-forme sous-marine sur laquelle, à marée basse, on peut pénétrer dans l'eau, en suivant une profondeur tout à fait graduelle, jusqu'à ce qu'on arrive à un point où le fond s'abaisse brusquement. Cette plate-forme augmente plus ou moins rapidement en largeur, suivant le degré de dureté des roches, et, lorsqu'elle vient à émerger, elle constitue une bande de terre ferme.

Mais les quatre principales lignes de falaises observées en Morée n'impliquent pas, comme quelques auteurs ont pu l'imaginer, quatre grandes époques d'exhaussements subits; elles indiquent simplement l'intermittence de la force d'exhaussement. Si le soulèvement de la terre se fût continué d'une manière non interrompue, il ne se serait pas produit de ligne saillante d'escarpement, car chaque portion de la surface aurait été, à son tour, et pendant une période égale de temps, une plage marine, et aurait présenté à peu près le même aspect; mais, lorsque des interruptions ont lieu pendant la durée de l'exhaussement, les flots et les courants ont le temps de saper, d'entraîner et de faire disparaître des masses considérables de rochers, et, par suite, de donner succes-

sivement naissance à plusieurs lignes d'escarpements, ayant chacune un niveau distinct et reposant chacune sur une large terrasse.

Il existe toutefois, en Morée, certaines surfaces nivelées, tant anciennes que modernes, qui ne sont point le résultat d'une dénudation, bien qu'elles ressemblent par leur aspect aux terrasses que nous avons décrites. On peut les appeler terrasses de dépôt, car elles résultent de l'empiétement de la terre sur la mer, anx points où les rivières et les torrents ont produit des deltas. Lorsque la matière sédimentaire a comblé une baie, ou un golfe entouré de montagnes escarpées, une plaine unie se forme, bordant les précipices vers la terre ; et, quand ces dépôts viennent à s'élever, ils donnent à la localité une physionomie tout à fait semblable à celle des surfaces de dénudation.

J'ai visité, sur la côte nord de la Sicile, une de ces terrasses de dépôt ; aux environs de Palerme, comme en Grèce, on voit une ligne de falaises calcaires, avec des cavernes à leurs bases, qui bordent une plage légèrement inclinée. En allant du rivage vers l'intérieur, on trouve la plate-forme *c* (fig. 93), d'une largeur de 1600 mètres, qui se compose de couches

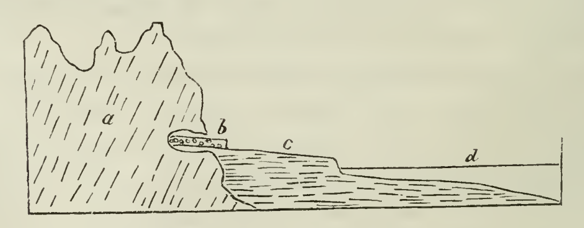


FIG. 93. — *a*. Monte Grifone. — *b*. Caverne de San-Ciro (1).
c. Plaine de Palerme, dans laquelle sont les couches de calcaire et de sable appartenant au nouveau Pliocène. — *d*. Baie de Palerme.

marines de calcaire, remplies en majeure partie de coquilles et de coraux d'espèces vivantes. On arrive ensuite à un précipice taillé dans le calcaire hippurite, *a*, dans lequel se trouve la fameuse caverne San-Ciro, *b*, d'une longueur de 40 mètres, sur

(1) Dr Christie, *Edin. New Phil. Journ.*

15 de hauteur, et 9 de large. Son entrée domine aujourd'hui de 55 mètres le niveau de la mer, mais l'eau salée doit avoir pénétré autrefois dans l'intérieur, car les murs sont criblés, à une hauteur de plusieurs mètres, de perforations de mollusques, et le foud de la caverne est recouvert d'une couche mince de sable, contenant plus de quarante espèces de coquilles de mer, vivant presque toutes actuellement dans la Méditerranée. Depuis le retrait des eaux, une couche épaisse de brèches s'est accumulée sur le sable, et cache les perforations des *lithodomes*, excepté dans les endroits où celles-ci ont été mises à découvert par des excavations artificielles. La brèche est composée de morceaux de calcaire, de quartz et de schiste immatriculés dans une marne brune, parseméede coquilles terrestres et d'ossements d'hippopotames de races éteintes, suivant le Docteur Falconer, et en si grande quantité, qu'ils font supposer l'existence de plusieurs centaines de ces individus. On y remarque encore les restes de l'*Elephas antiquus* (d'après la description du même ostéologue), ainsi que des débris osseux du *Bos*, du *Cervus*, du *Sus*, de l'*Ursus*, du *Canis* et d'un grand *Felis*, qui, pour la plupart, sont roulés comme s'ils avaient été en partie soumis à l'action des eaux. Toute cette masse d'ossements semble avoir été introduite, par la force des torrents qui s'engouffraient, peut-être, dans cette caverne et dans celle du voisinage, à travers les déchirements du calcaire hippurite. Celui-ci doit avoir occupé autrefois la surface du pays située au-dessus, à une époque où la configuration physique de la région différait entièrement de celle qui s'offre aujourd'hui, alors que des rivières fréquentées par les hippopotames coulaient sur des terrains où l'on ne trouve plus trace d'eau courante.

On observe encore en Sicile d'autres nombreux exemples de terrasses de dénudation. L'une d'elles se montre sur la côte orientale, au nord de Syracuse, et reparaît au sud, au delà de la ville de Noto ; en cet endroit, elle forme un précipice élevé et continu, *ab* (fig. 94), qui regarde vers la mer et termine brusquement une formation calcaire dont les

couches horizontales s'étendent au loin dans l'intérieur du pays. La hauteur de ce précipice varie de 150 à 215 mètres; entre sa base et la mer il existe une plate-forme inférieure *cb*, constituée par un calcaire blanc semblable au précédent. Toutes les couches plongent vers la mer, mais elles ne sont ordinairement que très-peu inclinées; on les voit se prolonger sans interruption du pied de l'escarpement tout le long de la plate-forme, montrant distinctement que la falaise élevée n'a point été produite par une faille ou un craquement vertical des couches, mais par l'ablation d'une masse considérable de roche. On peut en conclure que la mer, qui mine aujourd'hui la base des falaises Siciliennes, atteignait jadis le pied du précipice *ab*, et qu'à cette époque la surface de la terrasse *cb* devait être couverte par la Méditerranée. Il y eut un temps d'arrêt, toutefois, dans le mouvement d'ascension, temps pendant lequel les flots de la mer purent façonner la plate-forme *cb;* mais il y eut, de plus, diverses autres périodes stationnaires de durée moindre. Supposons qu'une

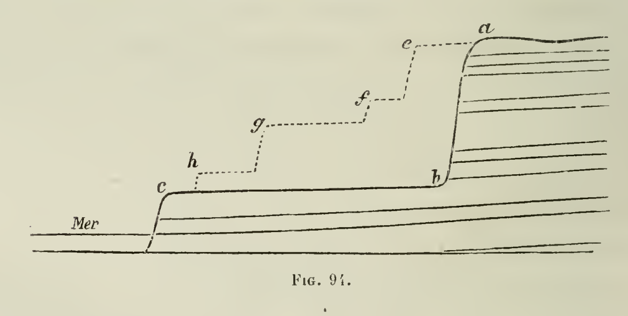


FIG. 94.

série d'escarpements *e*, *f*, *g*, *h*, ait existé autrefois, et que la mer, exempte pendant un long intervalle de tout mouvement souterrain, ait avancé le long de la ligne *cb*, toutes les falaises précédentes auront dû être emportées l'une après l'autre et réduites au seul précipice *ab*.

Il est très-probable qu'à une certaine époque, une série de petites falaises, telles que celles représentées en *e*, *f, g, h* (fig. 94), existèrent réellement à des hauteurs intermédiai-

res, au lieu de l'unique précipice *ab;* ce qui semblerait le prouver, c'est que, dans certaines baies et dans les vallées intérieures dont l'ouverture regarde la côte orientale de la Sicile, non loin même du point que représente la figure 94, le calcaire solide montre une nombreuse succession de gradins séparés les uns des autres par de petits escarpements verticaux. Ces gradins superposés se succèdent quelquefois en si grand nombre, qu'ils donnent aux courbures formées à l'extrémité d'une vallée une analogie vraiment singulière

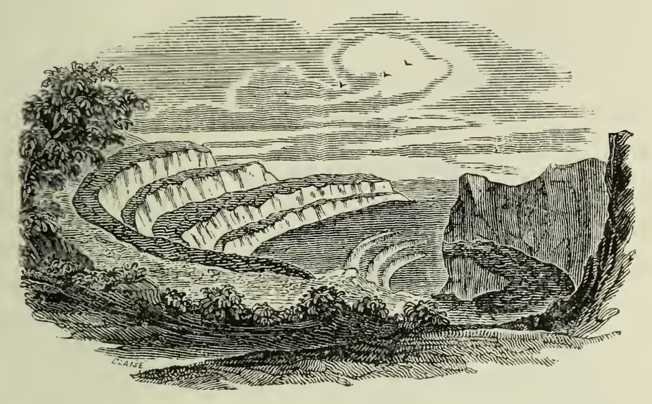


FIG. 95. — Vallée appelée Gozzo degli Martiri, au-dessous de Melilli, val di Noto.

avec un amphithéâtre romain. On peut observer un très-bon exemple de cette sorte de configuration près de la ville de Melilli (fig. 95). Au sud de l'île, près de Spaccaforno Scicli, et Modica, des rochers abrupts de calcaire blanc, d'une hauteur de 150 mètres, ont été façonnés de la même manière.

Que des gradins de marbre se trouvent ainsi disposés circulairement au fond d'une vallée, ou bien qu'une double série d'escarpements descende depuis le sommet jusque vers le bas, sur les deux côtés opposés d'une gorge de montagnes, ces divers arrangements s'expliquent par la supposition que la mer aurait occupé successivement plusieurs niveaux différents, tels que *aa*, *bb*, *cc* (fig. 96); quant aux causes de la contraction graduelle de la vallée, depuis le haut

jusque vers le bas, elles peuvent s'apprécier de diverses manières : telle contraction a pu résulter de la force plus grande exercée par les eaux lorsque la terre, émergeant pour la première fois, offrait, dans une mer ouverte, une masse moins considérable et bien plus exposée à la dénudation, tandis que la destruction de la roche a dû diminuer à me-

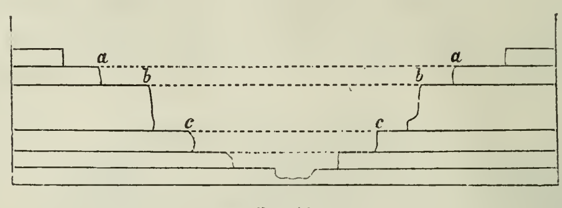


FIG. 96.

sure que l'action dénudante s'amoindrissait dans les baies et canaux fermés de deux ou trois côtés. Ou bien, les mouvements séparés d'exhaussement ont pu se succéder plus rapidement à mesure que la terre a continué de s'élever, de telle sorte que la durée de chacun des temps d'arrêt pendant lesquels s'est accompli le maximum de dénudation, à de certains niveaux, est toujours allée en diminuant. Il faut remarquer que l'on rencontre rarement, sur les côtés opposés des vallées Siciliennes, des escarpements et de petites terrasses dont les hauteurs se correspondent aussi correctement l'une à l'autre que dans la figure 96. Quelle que soit celle des deux hypothèses que l'on adopte, on pouvait s'y attendre, car, suivant la direction dominante des vents ou des courants, les flots doivent battre avec une force inégale les différentes parties du rivage ; or, nulle atteinte ne se fera peut-être sentir sur l'un des côtés d'une baie, tandis que, sur l'autre côté, la mer empiétera si loin qu'elle finira par réunir plusieurs petites falaises en une seule.

Avant de quitter le sujet des anciennes falaises taillées dans le calcaire, je mentionnerai des roches escarpées, appartenant au marbre blanc de la période Oolithique, que j'ai vues près de la porte nord de Saint-Mihiel, en France. Ces

roches sont situées sur la rive droite de la Meuse, à une distance de 320 kilomètres de la mer la plus rapprochée, et elles présentent, sur le côté abrupt qui regarde la rivière, trois ou quatre sillons horizontalement superposés qui rappellent très-exactement ceux que produit l'érosion des vagues. Plusieurs de ces roches sont des masses détachées de la colline voisine; les sillons les contournent et regardent vers tous les points de l'horizon, comme si les blocs sillonnés eussent formé autrefois des îlots de rochers près du rivage (1).

Le capitaine Bayfield, dans son exploration du Golfe de Saint-Laurent, a découvert sur plusieurs points, mais en particulier dans les îles Mingan, une représentation des rochers intérieurs de Saint-Mihiel, et a tracé une suite de lignes ou cordons de galets, placées l'une au-dessus de l'autre,

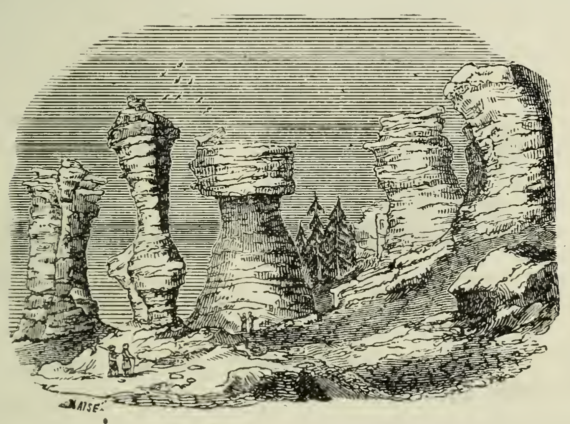


FIG. 97. — Colonnes calcaires dans l'île Niapisca, Golfe de Saint-Laurent. Hauteur de la seconde colonne, sur la gauche, 18 mètres.

et concordant, quant à leur niveau, avec quelques-uns des principaux sillons creusés en travers des piliers calcaires. Ces lignes sont composées de galets calcaires avec coquilles d'espèces récentes; la plus éloignée du rivage est à 18 mètres au-dessus du niveau des plus hautes marées. Outre les dessins des piliers, appelés *pots à fleurs* (*flower-pots*), qu'il a

(1) J'ai été guidé par M. Deshayes, dans cette localité, en juin 1833.

publiés (1), j'ai été assez heureux pour me procurer d'autres vues de rochers de la même côte, dues au crayon du Lieutenant A. Bowen de la Marine Royale (fig. 97).

Dans les berges de l'Amérique du Nord, on a rencontré des fragments arrondis de calcaire perforés par les lithodomes; des trous semblables, pratiqués par les mêmes mollusques, ont été découverts dans les roches colonnaires, ou *pots à fleurs :* ce fait montre que la surface a subi peu d'altération par les agents atmosphériques, car autrement les cavités dont il vient d'être question auraient disparu.

Nous avons observé, dans les îles Bermudes, la manière dont les vagues de l'Atlantique ont creusé et creusent encore des cavités profondes, très-lisses, tout autour de masses saillantes de calcaire dur. Dans le dessin suivant (fig. 98), qui m'a été communiqué par le Capitaine Nelson, les exca-



FIG. 98. — Rochers du Nord (Bermudes), en dehors du grand récif de corail, A, 4m,80, et B, 3m,60. — *c,c.* Excavations produites par la mer.

vations *c*, *c*, *c*, ont été creusées par les eaux dans une pierre d'une date très-récente; cette pierre, bien qu'extrêmement dure, est remplie de coraux et de coquilles modernes dont quelques-unes ont même conservé leur couleur.

Lorsque les géologues étudient avec attention les formes de ces sillons horizontaux, dont la surface est quelquefois lisse et presque polie, et dont le bord supérieur fait souvent une saillie de 2 mètres ou plus, ils rencontrent le témoignage le moins équivoque de l'action exercée jadis par les vagues sur d'innombrables points situés au loin dans l'inté-

(1) Voyez *Trans. de la Soc. geol.*, 2e série, vol. V, pl. 5.

rieur des continents. Mais il faut apprendre à distinguer les effets dus à l'action originelle des eaux de ceux qu'a produits ultérieurement la décomposition chimique des roches calcaires, sous l'influence des agents atmosphériques.

Je terminerai en conseillant aux commençants de n'être point surpris s'ils ne rencontrent aucune trace évidente du séjour antérieur de la mer sur des terres dont la submersion, à des époques relativement récentes, ne fait pour nous l'objet d'aucun doute. Malgré la nature durable des traces laissées par l'action littorale sur les roches calcaires, on ne saurait découvrir partout d'anciennes plages marines et des falaises intérieures, même en Sicile et en Morée. Ces sortes de traces sont fréquemment interrompues, et manquent souvent dans les districts composés de formations argileuses et sableuses, bien que celles-ci aient dû s'élever dans le même temps, et par les mêmes mouvements intermittents, que les roches calcaires voisines.

CHAPITRE VII

ALLUVION.

Sa description. — Son origine compliquée. — Alluvion de différents âges, exemples fournis par l'Auvergne. — Comment distinguer l'alluvion des roches *in situ*. — Tuyaux de sable dans la craie. — Terrasses d'alluvion produites par des oscillations dans le niveau du sol.

Entre l'enveloppe superficielle de terre végétale et la roche sous-jacente, il existe généralement un dépôt de gravier meuble, de sable et de limon, auquel on a donné le nom d'*alluvion*. Ce nom a été tiré d'*alluvio* (inondation), ou d'*alluo* (je lave), d'après cette circonstance que les cailloux et le sable ressemblent communément à ceux du lit d'une rivière, et aux dépôts de limon et de gravier que les inondations abandonnent sur les terres basses.

Une enveloppe partielle d'alluvion ainsi composé se retrouve dans tous les climats, depuis les régions équatoriales jusqu'aux régions polaires ; mais, dans les plus hautes latitudes de l'Europe et du nord de l'Amérique, ce dépôt prend un caractère particulier : très-souvent il n'est pas stratifié, il contient d'énormes fragments de roches, les uns angulaires, les autres arrondis, qui ont été transportés à de grandes distances du point de leur origine. Lorsque le dépôt présente cette forme, on lui donne le nom de *diluvium*, de *drift* (anglais), de *formation de transport* (*boulder formation*) ; nous traiterons plus particulièrement de sa liaison probable avec les produits des glaces flottantes et des glaciers, dans les XIe et XIIe Chapitres.

D'après ce que j'ai dit sur la dénudation, le lecteur sait déjà que l'on rencontre souvent du gravier meuble et du sable, non-seulement sur les terres basses qui longent les rivières, mais encore, et à différentes hauteurs, contre les flancs et

jusque sur le sommet des montagnes. Or, durant le cours des changements survenus dans la géographie physique à l'époque où le fond de la mer, s'élevant graduellement, passait à l'état de terre ferme, chaque place a pu être un récif, une baie, un estuaire, une plage marine, ou même le lit d'une rivière. De plus, la distribution des eaux sur les continents a pu se trouver modifiée maintes et maintes fois par les tremblements de terre ; des lacs temporaires se sont formés par les glissements de terrain, et la destruction des barrières naturelles opposées à ces lacs a causé des déluges partiels. Enfin, les dernières actions de l'eau ont eu pour effet naturel de troubler et de confondre tous les alluvions formées précédemment. En présence d'une aussi grande diversité de causes et d'origines, on aurait tort d'espérer jamais connaître tous les phénomènes alluviens de chaque contrée en particulier. Il y aurait aussi un grand danger à regarder comme l'œuvre d'une seule époque, et l'effet d'une cause unique, ce qui fut, en réalité, le résultat d'actions distinctes pendant une longue succession de périodes géologiques. On peut, toutefois, tirer une instruction utile de l'examen d'une contrée comme l'Auvergne, où des graviers superficiels de différentes dates ont été conservés par des coulées de lave, sorties successivement à des époques où la dénudation et probablement l'exhaussement des roches étaient en voie de progrès. Cette région avait acquis en partie sa configuration actuelle avant qu'aucun volcan y fût en activité, et qu'aucune matière ignée eût été répandue sur ses formations granitiques ou fossilifères ; aussi les galets, formés dans les graviers les plus anciens, y sont-ils exclusivement formés de granit et d'autres roches primordiales ; lorsque les soupiraux volcaniques vinrent à s'ouvrir, ces alluvions furent couvertes par des courants de lave qui les préservèrent du mélange avec le gravier des époques subséquentes. Dans la suite des temps, un nouveau système de vallées prit naissance, et les rivières coulèrent à des niveaux inférieurs à ceux des premières alluvions et des anciennes

coulées de laves. Lorsque, plus tard, d'autres éruptions donnèrent lieu à de nouvelles laves, la matière fondue se répandit sur un sol plus bas, et le gravier de ces plaines différa de celui de l'alluvion des hautes terres, en ce qu'il contint des fragments arrondis de différentes roches volcaniques, et souvent des os appartenant à des groupes distincts d'animaux terrestres qui avaient successivement vécu dans la nouvelle contrée.

Le dessin ci-joint (fig. 99) fait voir les hauteurs diverses auxquelles on observe des lits de lave et de gravier, différents les uns des autres par leur composition et par leur

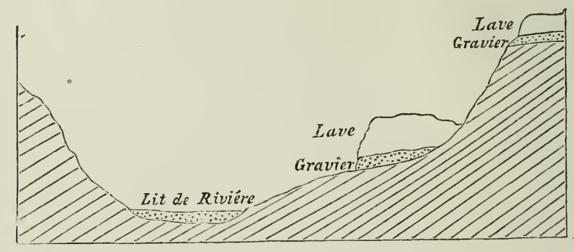


Fig. 99. — Laves en Auvergne, reposant sur des alluvions de différents âges.

âge; quelques-uns occupent les plateaux de montagnes élevées de 200 à 250 mètres, d'autres la pente des mêmes montagnes, et les plus modernes de tous, le fond de la rivière actuelle, où l'on ne trouve d'ordinaire que du gravier. Toutefois, dans quelques cas, une coulée étroite de lave solide occupe, avec la rivière, le creux de la vallée. Dans toutes ces accumulations de matières transportées de différents âges, on a rencontré des ossements de mammifères éteints, appartenant à un ensemble de quadrupèdes terrestres qui ont vécu dans la contrée de date postérieure, et dont les groupes varient, sous le rapport des espèces, dans des limites plus ou moins grandes, suivant le temps qui s'est écoulé entre les époques successives d'enfouissement. Les ruisseaux minent encore les bords de la masse et réduisent en cailloux et en sable les colonnes de basalte et les fragments de granit et de gneiss; mais certaines portions d'allu-

vions plus anciennes, avec les débris fossiles qu'elles contiennent, ont été préservées du mélange avec le gravier de date récente par les recouvrements de lave ci-dessus mentionnés. Cependant, sans l'intervention accidentelle de cette cause particulière, toutes les alluvions auraient pu passer si insensiblement les unes aux autres, que les plus anciennement formées sembleraient aujourd'hui de même date que les plus modernes, et que la formation entière ne serait plus, aux yeux de quelques géologues, que le résultat d'une seule catastrophe soudaine et violente.

Presque partout l'alluvion se compose, dans sa partie supérieure, de matières de transport ; mais souvent elle passe, vers sa base, à un amas de fragments brisés, anguleux, arrachés aux roches sous-jacentes, et dont on peut attribuer la formation à l'influence des agents atmosphériques, à la désagrégation de la roche sur place, aux effets de l'air et de l'eau, du soleil et du froid, ou bien à la décomposition chimique. Dans plusieurs parties de l'Angleterre, on a donné à cet amas le nom de *rubble* ou *brash*, mots tirés de l'idiome provincial.

La surface inférieure des dépôts alluviens est souvent très-irrégulière en ce qu'elle se moule sur toutes les inégalités des roches qui leur servent de base (fig. 100). Quelquefois on observe de petites masses, comme en *c*, que l'on dirait détachées de leur position originelle et incrustées, pour ainsi dire, dans la formation sous-jacente. Ces masses isolées sont ordinairement des sortes de trous contournés remplis d'alluvion, qu'on peut supposer avoir servi de conduits à des sources ou à de petits ruisseaux souterrains, qui ont élargi les fentes naturelles en coulant au travers de la masse rocheuse ; lorsqu'on les rencontre sur une petite échelle,

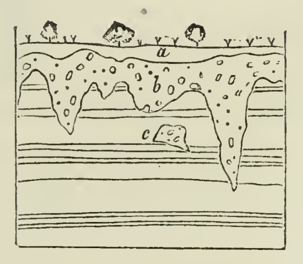


FIG. 100. — *a*. Sol végétal. — *b*. Alluvium. — *c*. Masse de la même alluvion, apparemment détachée.

ou bien dans des couches peu dures, ils peuvent indiquer la place autrefois occupée par les racines de grands arbres, et que le gravier ainsi que le sable ont remplie après la destruction de ces racines.

On n'explique pas aussi bien l'origine de certaines autres cavités profondes et cylindriques que l'on trouve en France, en Angleterre, et dans d'autres pays, et qui, s'enfonçant dans la craie blanche, sont comblées par du sable et du gravier. On leur a donné quelquefois, en Angleterre, le nom de *sand-pipes* (tuyaux de sable), ou *sand-galls*, et, en France, celui de *puits naturels*. J'ai observé moi-même celles que j'ai représentées dans la coupe ci-dessous (fig. 101), en 1839, près de Norwich, sur un point où le percement

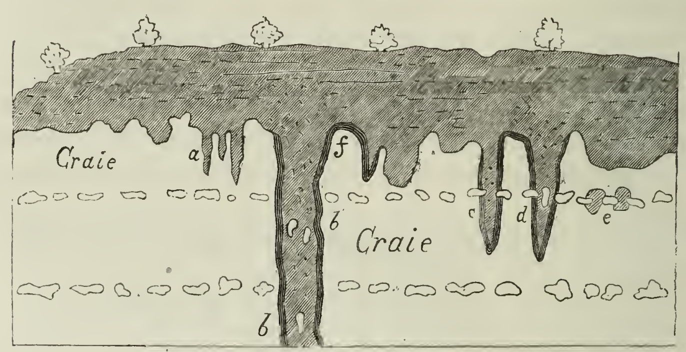


Fig. 101. — Tuyaux de sable (puits naturels) dans la craie, à Eaton, près de Norwich.

d'un large puits les avait mises à découvert. Elles étaient d'une forme très-symétrique ; les plus larges avaient au delà de 3^{m},60 de diamètre, et quelques-unes avaient été suivies par le forage jusqu'à 18 mètres de profondeur. Les plus petites variaient de quelques centimètres à trois décimètres de diamètre, et rarement elles deseendaient à plus de 3^{m},65 au-dessous de la surface. Sur un point où trois d'entre elles se présentaient, comme en *a* (fig. 101), très-rapprochées les unes des autres, la roche interposée, composée de craie blanche, tendre, n'était aucunement brisée. Toutes les cavités se dirigeaient vers le bas et se

terminaient en pointe ; généralement, du sable et des cailloux roulés occupaient les parties centrales des tuyaux, tandis que les côtés et le fond étaient tapissés d'argile.

M. Trimmer, en parlant de tuyaux du même genre que l'on rencontre dans la craie de Kent, attribue leur origine à l'action de la mer sur une berge ou sur un bas-fond : en même temps que les vagues chargées de galets et de sable tracent des sillons longitudinaux, tels qu'on peut en observer sur la surface de la craie ci-dessus mentionnée, près de Norwich, où le gravier sus-jacent a été enlevé, de profondes cavités circulaires sont creusées par le mouvement rotatoire imprimé au sable et aux galets. Des sillons et des cavités verticales semblables se forment encore de nos jours, fait observer M. Trimmer, sur les côtes où la roche est composée de craie (1).

Je suis porté à croire que l'origine de plusieurs de ces cavités tubulaires doit être attribuée à la cause qui vient d'être indiquée. Mais cette action, toute mécanique, ne peut avoir creusé en entier les tuyaux de sable *c* et *d* (fig. 101), car on voit plusieurs gros silex de la craie qui font saillie hors des parois de ces tuyaux, et qui n'ont pas subi l'effet de l'érosion, bien que le sable et le gravier aient pénétré à plusieurs décimètres au-dessous. Dans d'autres cas, tels qu'en *bb*, on rencontre de semblables nodules siliceux, conservant encore leur forme irrégulière et leur encroûtement blanchâtre, à différentes profondeurs au sein des matériaux meubles qui remplissent les tuyaux. Ces nodules proviennent évidemment des lits réguliers de silex qui se trouvent au-dessus. Il faut aussi remarquer que le tracé du même tuyau *bb* se continue quelquefois jusqu'à une certaine distance au-dessus du niveau de la craie, à travers le sable et le gravier qui la recouvrent ; la destruction de toute marque de stratification ne laisse aucun doute sur la réalité de cette continuation. Quelquefois, comme dans le tuyau *d*, les lits sus-jacents de gra-

(1) Trimmer, *Proceed. of Geol. Soc.*, vol. IV, p. 7, 1842.

vier se courbent au bas, vers l'embouchure du tuyau, et prennent une direction presque verticale, ainsi qu'il arriverait si des couches horizontales eussent fléchi graduellement par défaut de supports. On peut expliquer tous ces phénomènes en attribuant l'élargissement et l'approfondissement des tuyaux de sable à l'action chimique de l'eau chargée d'acide carbonique, extrait du sol végétal ou des racines d'arbres en décomposition. Cet acide, qui a pu corroder la craie, et creuser indéfiniment les trous déjà formés, est resté impuissant à dissoudre le silex. L'eau, après s'être saturée de carbonate de chaux, a pu filtrer librement à travers les parois poreuses environnantes de la craie, et s'échapper par cette voie aussi bien que par le fond du tube, emportant de grandes quantités de la roche calcaire dissoute (1), et abandonnant contre les parois de chaque cavité tubulaire une incrustation de cette argile fine que la craie blanche contient.

J'ai vu des tubes tout à fait semblables aux précédents, de $0^m,30$ à $1^m,50$ de diamètre, qui traversaient verticalement la moitié supérieure du calcaire tendre à bâtir, ou craie sans silex, dont se compose la montagne de Saint-Pierre à Maëstricht. Ils étaient remplis de cailloux roulés et d'argile provenant des lits supérieurs de gravier, et tous étaient terminés vers le bas comme ceux de Norfolk. J'ai appris aussi qu'à 9 kilomètres de Maëstricht, l'un de ces tuyaux, de $0^m,60$ de diamètre, se prolongeait jusqu'à un lit de silex plats, formant une bande presque continue dans la craie. Arrivé là, il se terminait brusquement, mais quelques petits prolongements de forme radiculaire s'ouvraient immédiatement au-dessous, probablement dans la direction où la substance dissolvante avait pu pénétrer par quelques ouvertures dans la masse siliceuse.

Il n'est pas aussi facile, qu'il semblerait au premier abord, de tracer une ligne de démarcation parfaitement nette entre

(1) Voyez Lyell, *On Sand-pipes* (*Sur les tuyaux de sable*), etc. (*Philos. Magaz.*, 3e série, vol. XV, p. 257, Oct. 1839).

les roches *fixes* ou couches régulières (roches *in situ*, en place) et l'alluvion. Lorsque le lit d'un torrent ou d'une rivière est mis à sec, nous appelons *alluvion* le gravier, le sable, le limon, qui restent dans ce lit, ou les substances quelconques que, durant leurs inondations, ces cours d'eau ont pu répandre sur les plaines environnantes. Lorsque les mêmes matières, transportées dans un lac et soumises au sein de l'eau à une sorte de triage, se disposent en lits plus distincts, elles prennent le nom de *couches régulières*, spécialement si elles renferment des débris de plantes, de coquilles ou d'autres fossiles.

Quelquefois le gravier, le sable et les débris de coquilles, étalés sur le parcours d'un courant marin rapide, peuvent être comparés à un dépôt formé dans le même temps par la précipitation annuelle de matières semblables, sur quelque point de la mer plus profond et plus tranquille. Dans ce cas, lorsqu'on découvre dans les couches des coquilles marines ou d'autres débris organiques qui permettent d'en déterminer l'âge et l'origine, on les considère comme faisant partie d'une série régulière de formations fossilifères, tandis que, si les fossiles manquent, on n'a souvent aucun moyen de séparer ces couches de la masse générale d'alluvion superficielle.

La rareté habituelle des débris organiques dans les lits de gravier meuble doit être attribuée, soit au frottement qui a réduit les roches en cailloux et en sable, et les débris organiques en petits fragments, soit à la nature poreuse de l'alluvion au moment de son émersion ; l'eau de pluie, pénétrant librement la masse, a provoqué la décomposition et la dissolution des débris organiques.

Tout le monde sait qu'un grand nombre de rivières creusent aujourd'hui leur lit à travers des dépôts d'alluvion plus profonds et plus étendus qu'aucun de ceux que peuvent former les cours d'eau actuels. On s'est hâté quelquefois d'en conclure que les rivières, dans les temps modernes, étaient devenues plus petites et moins sujettes aux débordements

qu'elles ne l'étaient dans les anciens temps. Mais il serait bien plus naturel de voir tout simplement ici le résultat d'oscillations survenues dans le niveau du sol, depuis l'origine des vallées actuelles.

Supposons qu'une portion de continent, comprenant dans son étendue un vaste bassin hydrographique, tel que celui du Mississipi, vienne à baisser de plusieurs centimètres ou décimètres dans le cours d'un siècle, comme cela est arrivé, pendant trois ou quatre cents ans, entre les latitudes 60° et 69° N., pour la côte occidentale du Groënland qui s'étend du nord au sud sur près de 900 kilomètres (1); la quantité d'abaissement ne sera pas partout la même, et, dans bien des cas, l'intérieur des terres subira une dépression supérieure à celle de la région qui longe la mer. Toutes les fois qu'il en sera ainsi, la pente des eaux qui descendront des terres supérieures diminuera, les ruisseaux tributaires perdront de leur force à porter le sable et les sédiments dans la rivière principale, et celle-ci deviendra à son tour moins puissante à entraîner les mêmes matières à la mer. Toutes les rivières, dès lors, commenceront à combler en partie leurs anciens lits, et, pendant leurs inondations devenues plus fréquentes, elles exhausseront par de nouveaux dépôts les plaines alluviales qui les bordent. Si, alors, la même surface de terre vient à se relever à son premier niveau, la pente, et conséquemment la vitesse de toutes les rivières, commenceront à augmenter, les eaux seront moins sujettes à inonder les plaines voisines, elles continueront de charrier les matières terreuses vers la mer, et nettoieront et approfondiront leurs lits jusqu'à ce que, après plusieurs milliers d'années, chacune d'elles se soit creusé un nouveau canal, ou vallée, au travers d'une formation fluviale d'une date comparativement moderne. Les *plaines de rivières* qui existaient pendant la période de plus grande dépression formeront alors aux deux côtés de la vallée des sortes de terrasses en apparence hori-

(1) *Princip. of Geolog.*, 7e édit. (angl.), p. 506 ; 8e édit. (*id.*), p. 509.

zontales, mais qui, en réalité, inclineront dans le sens de la rivière, sur toute leur étendue; ces terrasses présenteront des escarpements de gravier et de sable qui feront face au cours d'eau. Qu'une semblable série de mouvements se soit effectivement produite pendant les oscillations de niveau dans la principale vallée du Mississipi et dans ses vallées tribntaires, c'est ce que je me suis efforcé de démontrer dans une description de cette contrée (1); et les coquilles d'eau douce d'espèces vivantes, ainsi que les ossements de quadrupèdes terrestres appartenant en partie à des races éteintes et conservés dans les terrasses d'origine fluviatile, attestent l'exclusion de la mer pendant toute la durée du comblement et de la réexcavation partielle.

De semblables terrasses sont la contre-partie de celles que nous avons mentionnées (figure 99, p. 130) dans lesquelles la partie supérieure de la série est composée d'alluvion de date ancienne, qui a été formée bien avant que la vallée eût atteint sa largeur et sa profondeur actuelles.

(1) *Second Visit to the United States*, vol. II, chap. XXXIV.

CHAPITRE VIII

CLASSIFICATION CHRONOLOGIQUE DES ROCHES.

Roches aqueuses, plutoniques, volcaniques et métamorphiques, considérées sous le rapport chronologique. — Division des roches, par Lehmann, en primitives et secondaires. — Classe de transition ajoutée par Werner. — Théorie neptunienne. — Théorie de Hutton sur l'origine ignée du granit. — Pourquoi on a conservé au granit la dénomination de roche primaire. — Pourquoi le mot *transition* est-il fautif? — La persistance à conserver l'ancienne nomenclature chronologique a retardé les progrès de la géologie. — Hypothèse nouvelle imaginée pour concilier l'origine ignée du granit avec l'opinion admise sur sa haute antiquité. — Explication de la nomenclature chronologique adoptée dans cet ouvrage, quant aux périodes primaires, secondaires et tertiaires.

Dans le premier chapitre de cet ouvrage, nous avons établi quatre grandes classes de roches : aqueuses, volcaniques, plutoniques et métamorphiques ; nous avons dit qu'elles devaient être considérées, chacune, non-seulement sous le rapport de leurs caractères minéralogiques et de leur origine, mais encore sous celui de leur âge relatif. Quant aux roches aqueuses en particulier, nous avons vu qu'elles étaient stratifiées ; que les unes étaient calcaires, les autres argileuses ou siliceuses, quelques-unes composées de sable, quelques autres de galets ; que certaines renfermaient des fossiles d'eau douce, d'autres des fossiles marins, et ainsi de suite. Mais l'élève ne sait pas encore reconnaître, d'après leurs caractères, à quelles époques de l'histoire de la terre telles ou telles de ces roches ont été formées.

Il est plus facile de déterminer l'âge des formations fossilifères que celui de toute autre classe de formations. La méthode la plus convenable et la plus naturelle consiste à établir d'abord une chronologie de ces couches, puis à rapporter autant que possible aux mêmes divisions les différents groupes de roches plutoniques, volcaniques ou métamor-

phiques. Ce système de classification se recommande non-seulement par sa grande clarté et par la facilité qu'il offre aux applications, mais encore par la manière dont il frappe l'imagination, en déroulant le tableau des révolutions contemporaines des créations inorganiques et organiques des premiers âges. Quant aux formations sédimentaires, on les distingue très-facilement par les différentes espèces d'animaux et de plantes fossiles qu'elles renferment, espèces qui ont successivement vécu par groupes sur la terre et ont ensuite disparu.

Mais, avant d'aborder dans leur ordre d'âge les sous-divisions des roches aqueuses, il est bon de dire quelques mots de la chronologie des roches en général, bien qu'en procédant de la sorte, nous risquions inévitablement de toucher à certaines classes de phénomènes que le commençant ne sera pas encore tout à fait à même de comprendre parfaitement.

Pendant longtemps, on a considéré comme certain que des familles entières de roches, telles que les roches plutoniques et les schistes cristallins métamorphiques, avaient dû commencer et finir avant la formation de tout autre membre de l'ordre des roches aqueuses et volcaniques ; bien que cette opinion se soit modifiée avec le temps et qu'on l'ait presque abandonnée aujourd'hui, il est cependant nécessaire de donner ici quelques explications sur cette ancienne doctrine, afin de faire connaître aux élèves la source et l'origine de plusieurs théories qui ont successivement prévalu, et d'une partie de la nomenclature géologique encore aujourd'hui en usage.

Vers le milieu du siècle dernier, un mineur Allemand, Lehmann, proposa de diviser les roches en trois classes : la première, sous le nom commun de *roches primitives*, comprenait les plus anciennes, les hypogènes, ou plutoniques et métamorphiques ; la classe suivante, *roches secondaires*, comprenait les couches aqueuses ou fossilifères ; la troisième correspondait à notre alluvion, tant ancienne que moderne : l'auteur la rapportait à des « inondations locales et au

déluge de Noé. » Dans la classe des roches primitives, disait-il, dans le granit et le gneiss, par exemple, on ne trouve ni débris organiques, ni trace de matières provenant de la destruction de roches préexistantes ; leur origine a pu être purement chimique, antérieure à la création des êtres vivants, et probablement contemporaine du commencement même du monde. Les formations secondaires, au contraire, qui contiennent souvent du sable, des cailloux roulés et des débris organiques, ont dû être déposées mécaniquement, et se sont produites après que notre planète eut commencé à servir de demeure aux animaux et aux plantes. Cette généralisation hardie, bien qu'entrevue déjà par Sténon, en Italie, un siècle auparavant, marqua dans les progrès de la géologie une étape importante, et fournit à la classification des roches une sorte d'esquisse exacte de quelques-unes de ses divisions principales. A peu près un demi-siècle plus tard, Werner, si justement célèbre par l'excellence des méthodes qu'il imagina pour distinguer les caractères minéralogiques des roches, entreprit de perfectionner la classification de Lehmann, et, sous le nom de *formations de transition*, il intercala une quatrième classe entre les terrains primitifs et les terrains secondaires. Il avait découvert, entre ces deux derniers terrains, dans le nord de l'Allemagne, une série de couches qui, sous le rapport de leurs particularités minéralogiques, offraient un caractère intermédiaire, participant jusqu'à un certain point de la nature cristalline du micaschiste et du schiste argileux, bien que montrant çà et là des traces d'une origine mécanique et des débris organiques. Pour ce groupe, qui formait un passage entre les roches primitives et les roches secondaires de Lehmann, Werner proposa le nom de *übergang*, ou transition ; le nouveau terrain se composait en partie de lits calcaires, mais principalement de grès et de schistes argileux appelés grauwacke. Dans le district où Werner fit ses premières recherches, les couches primitives et les couches de transition se trouvaient fortement inclinées, tandis que les cou-

ches de roches fossilifères plus modernes, ou roches secondaires de Lehmann, étaient horizontales. A ces dernières Werner donna donc le nom de *flötz*, ou plancher de niveau, et il désigna tous les dépôts plus modernes que la craie, rangée par lui au sommet de la série du flötz, sous le nom de *terre inondée*, expression que l'on peut regarder comme l'équivalent d'alluvion, bien qu'elle comprît toutes les couches qui furent plus tard appelées tertiaires, et sur lesquelles Werner n'eut que des idées très-imparfaites. Mais les géologues qui suivirent Werner ne tardèrent pas à apercevoir que la position inclinée des *couches de transition* et l'horizontalité du *flötz*, ou couches fossilifères plus modernes, étaient de simples accidents locaux ; bientôt ils abandonnèrent l'expression de flötz, et les quatre divisions de l'école de Werner reçurent les noms de *terrains primitif*, *de transition*, *secondaire* et *alluvial.*

Quant aux roches trappéennes, bien que leur origine ignée eût été déjà démontrée par Arduino, Fortis, Faujas, et spécialement par Desmarest, Werner continua de les regarder comme d'origine aqueuse et comme formant de simples membres subordonnés dans les séries secondaires (1).

Cette théorie de Werner fut appelée *Théorie Neptunienne*, et pendant de nombreuses années elle jouit de beaucoup de popularité. Elle admettait que le globe avait été primitivement enveloppé d'un océan chaotique, universel, tenant tous les éléments des roches en dissolution. Des eaux de cet océan s'étaient précipités d'abord le granit, le gneiss et les autres formations cristallines ; ensuite, lorsque les eaux, débarrassées de ces matières, eurent pris plus de ressemblance avec celles de nos mers actuelles, les couches de transition s'étaient déposées à leur tour. Ces couches avaient pris des caractères mixtes ; elles n'étaient pas de formation purement chimique, car les vagues et les courants avaient déjà commencé à entraîner de la terre solide et à produire des

(1) Voyez les *Principes de géologie*, vol. I, chap. IV.

galets, du sable et du limon ; elles n'étaient point non plus tout à fait dépourvues de fossiles, car quelques-uns des premiers animaux marins avaient commencé d'exister. Après cette période, les formations secondaires s'étaient accumulées dans des eaux ressemblant à celles de l'océan actuel, excepté à de certains intervalles où, par des causes tout à fait inexpliquées, avait eu lieu un retour partiel du *fluide chaotique*, durant lequel se formèrent différentes roches trappéennes, quelques-unes très-cristallines. Cette hypothèse gratuite rejetait toute intervention de l'action ignée ; les volcans étaient regardés comme des phénomènes modernes, des accidents partiels et superficiels, d'importance légère comparativement aux grandes causes qui avaient modifié la structure extérieure du globe.

Cependant Hutton, contemporain de Werner, commençait à démontrer en Écosse que le granit et le trapp étaient d'origine ignée, et s'étaient, à différentes époques, répandus à l'état fluide dans les diverses parties de l'écorce de la terre. Il reconnut et décrivit très-exactement plusieurs des phénomènes des filons granitiques et les altérations qu'ils avaient produites sur les couches envahies, sujet dont il sera question dans le trente-troisième chapitre. Il émit, de plus, l'opinion que les couches cristallines, appelées primitives, n'avaient point été précipitées des eaux d'un océan primordial, mais étaient des couches sédimentaires, altérées par la chaleur. Dans les écrits de Hutton, et par conséquent dans ceux de son commentateur Playfair, on trouve le germe de la théorie métamorphique. Nous en avons déjà dit quelques mots dans le premier chapitre ; elle sera exposée avec plus de développements dans les trente-quatrième et trente-cinquième.

Enfin, après beaucoup de controverses, la doctrine de l'origine ignée du trapp et du granit prit généralement faveur ; mais, bien que l'on admît, comme conséquence, que les deux roches, granit et trapp, avaient été produites à plusieurs époques successives, les épithètes de *primitives* ou *primaires*

continuèrent à être appliquées aux formations cristallines en général, soit qu'elles fussent stratifiées comme le gneiss, ou non stratifiées comme le granit. On enseigna dans les écoles que le granit était une roche primaire, mais que quelques granits étaient plus modernes que certaines formations secondaires ; et, pour se conformer à l'esprit de l'ancien langage qu'ils tenaient naturellement à maintenir, les professeurs cherchèrent à atténuer l'importance de ces granits plus modernes, dont les observations nouvelles venaient à chaque instant dévoiler les véritables dates.

On vit persister une tendance non moins prononcée à conserver l'usage du terme *transition*, après même qu'il fut prouvé que ce mot était presque aussi fautif, dans son application première, que celui de *flötz*. Le mot *transition*, comme nous l'avons dit, fut pour la première fois employé par Werner en vue de désigner un caractère minéralogique, intermédiaire entre l'état essentiellement cristallin ou métamorphique, et celui d'une roche fossilifère ordinaire. Mais cette expression acquit aussi tout d'abord une signification chronologique par l'application qu'on en fit à des formations sédimentaires qui, dans le Hartz et dans d'autres parties de l'Allemagne, se trouvaient plus anciennes que les moins récentes de la série secondaire, et étaient, en outre, caractérisées par des fossiles particuliers, zoophytes et coquilles. Lorsque, plus tard, les géologues rencontrèrent, dans d'autres districts, des roches stratifiées occupant la même position et renfermant des fossibles semblables, ils leur donnèrent, conformément aux règles que nous expliquerons dans le prochain chapitre, le nom de *roches de transition*, quoiqu'elles n'offrissent pas toujours la même texture minérale que celles que Werner avait désignées par le mot transition. Plusieurs d'entre elles, au contraire, n'étaient pas plus cristallines que différents membres de la classe des roches secondaires, tandis que d'autres de ces dernières présentaient quelquefois une texture demi-cristalline et presque un aspect métamorphique, de manière à mériter également, sous le rap-

port lithologique, le nom de roches de transition. Cette circonstance était tellement frappante dans les Alpes de la Suisse, que certaines roches, classées depuis bien des années par quelques-uns des disciples les plus distingués de Werner parmi les roches de transition, devinrent, dès que leur position relative et leurs fossiles furent mieux connus, des membres des étages les plus modernes des groupes secondaires ; on a même découvert aujourd'hui que quelques-unes de ces roches appartiennent à la série tertiaire inférieure ! Si, dans ce cas particulier, le nom de transition eût été maintenu, il est clair qu'il aurait dû être appliqué, sans égard pour l'âge des couches, et simplement comme expression d'une particularité minéralogique. L'application de ce mot, que l'on continua de faire à des formations d'une date donnée, porta des géologues à penser que les anciennes couches comprises sous cette dénomination ressemblaient moins aux formations secondaires qu'elles ne leur ressemblent en réalité, et à imaginer que ces dernières formations ne passaient jamais aux roches métamorphiques, comme elles le font fréquemment au contraire.

Le poëte Waller, en déplorant le style vieilli de Chaucer, se plaint ainsi :

We write in sand, our language grows,
And, like the tide, our work o'erflows.

« Nous écrivons sur le sable, notre langage grandit, et, comme la marée, déborde notre ouvrage. »

En géologie, c'est l'inverse qui est vrai, car c'est notre œuvre qui déborde continuellement notre langage. Le flot de l'observation avance avec une telle rapidité, que les perfectionnements de la théorie précèdent les changements de la nomenclature ; et, essayer de traduire de nouvelles vérités par des mots employés d'abord à exprimer une opinion différente ou contraire, c'est tendre, par la force de l'association, à perpétuer l'erreur; de telle sorte que des dogmes, bien

qu'abandonnés par la raison, laissent encore derrière eux une forte empreinte sur l'imagination.

Ce fut en vue de concilier les anciennes idées sur la chronologie des formations avec la nouvelle doctrine de l'origine ignée du granit, que l'hypothèse suivante a été substituée à celle des Neptunistes. On a supposé que les matières qui composent la croûte actuelle de la terre, au lieu de commencer par une dissolution aqueuse, ou fluide, chaotique, avaient été d'abord dans un état de fusion ignée, jusqu'au moment où, par suite de la diffusion d'une partie de la chaleur dans l'espace environnant, la surface du fluide se consolida et forma une croûte de granit.

Cette enveloppe de roches cristallines, qui prit, par la suite, une épaisseur de plus en plus considérable à mesure qu'elle se refroidit, était, dans le principe, à une température tellement élevée, que l'eau ne pouvait exister à sa surface ; mais, à mesure que le refroidissement augmenta, la vapeur aqueuse contenue dans l'atmosphère se condensa, et, tombant en pluie, donna naissance au premier *océan thermal.* La chaleur de cette mer bouillante était telle, que nuls êtres aquatiques n'auraient pu en habiter les eaux, et que les dépôts qui s'y formèrent furent non-seulement dépourvus de fossiles, mais encore prirent, comme ceux de quelques sources chaudes, une structure cristalline bien caractérisée. De là l'origine des couches primaires ou cristallines, gneiss, micaschiste et autres.

Lorsqu'ensuite la croûte granitiquevint à être brisée partiellement, des terres et des montagnes commencèrent à s'élever au-dessus de la surface des eaux, les pluies et les torrents désagrégèrent les roches et donnèrent naissance aux sédiments qui se répandirent sur le fond des mers. Bien qu'elle ne fût pas assez intense pour empêcher l'apparition et le développement de quelques êtres vivants, la chaleur qui subsistait encore au sein de la base solide était suffisante pour augmenter l'action chimique exercée par l'eau, et c'est durant cet état de choses qu'eut lieu la précipitation d'une

partie des éléments minéralogiques restés dans l'océan primordial ; il en résulta des dépôts (couches de transition de Werner) formés par voie moitié chimique et moitié mécanique, et qui continrent quelques fossiles.

Cette nouvelle théorie, qui n'était en partie qu'une résurrection de la doctrine de Leibnitz, publiée en 1680, sur l'origine ignée de notre planète, maintenait les vieilles idées sur la formation des roches cristallines avant toute apparition des êtres vivants, et, avec elle, se perpétua l'opinion erronée que toutes les roches, demi-cristallines et partiellement fossilifères, appartenaient à une période unique, tandis que les formations terreuses et non cristallines dataient d'une époque plus récente.

Il peut être vrai comme il peut être faux, ainsi que l'a pensé le grand Leibnitz, que notre planète ait été autrefois à l'état complet de liquéfaction ignée ; mais il n'existe certainement aucune preuve géologique que le granit, qui constitue la base d'une si grande portion de la croûte terrestre, ait été lui-même à un état de fusion universelle. Tout porte à croire, au contraire, que la formation du granit, de même que le dépôt des roches stratifiées, a été successive, et que différentes portions de ce granit n'ont été en fusion qu'à des époques distinctes et souvent éloignées. Telle masse s'est consolidée et a été fracturée avant qu'une autre masse de matière granitique ait été injectée dans la première, ou l'ait traversée sous forme de filons. Quelques granits sont plus anciens qu'aucune des roches fossilifères ; d'autres sont secondaires, et quelques-uns, comme celui du Mont-Blanc et d'une partie de la chaîne centrale des Alpes, sont d'origine tertiaire. En un mot, la fluidité universelle des fondements cristallins de la croûte terrestre ne peut s'entendre que dans le sens de l'universalité de l'ancien océan. Toutes les terres ont été sous l'eau, mais toutes n'y ont pas été en même temps ; de même, toutes les roches souterraines non stratifiées auxquelles nous pouvons avoir accès ont été à l'état de fusion, mais chacune à des temps différents.

Dans cet ouvrage, les quatre grandes classes de roches : aqueuses, plutoniques, volcaniques et métamorphiques, formeront quatre colonnes parallèles, ou presque parallèles, réunies dans un tableau chronologique. Elles seront considérées comme quatre ordres de monuments ayant rapport à quatre séries d'événements contemporains, ou presque contemporains. Je m'efforcerai, en traitant des roches plutoniques, dans un chapitre suivant, de faire comprendre comment certaines masses appartenant à chacune des quatre classes de roches ont pu se produire simultanément pendant chaque période géologique, et comment, depuis des temps infiniment reculés, la croûte terrestre a pu se modifier continuellement dans sa forme, au-dessus et au-dessous, sous l'influence des causes aqueuses et des causes ignées. De même que des couches aqueuses et fossilifères se forment aujourd'hui dans certaines mers et certains lacs, tandis que, sur d'autres points, on voit apparaître des roches volcaniques issues des réservoirs de matières fondues qui existent à de vastes profondeurs dans les entrailles de la terre ; de même, à chaque époque du passé, des dépôts fossilifères et des roches ignées se sont produits à la surface, concurremment avec d'autres dépôts souterrains et d'origine plutonique, en même temps que certaines couches sédimentaires, soumises à l'action de la chaleur, ont acquis une structure cristalline ou métamorphique.

On ne saurait considérer comme établi que, durant tous ces changements, la croûte solide de la terre ait augmenté en épaisseur. Il a été démontré qu'en ce qui concerne l'action aqueuse, le gain par les dépôts d'eau douce, et la perte par la dénudation, ont été compensés à chaque période (voyez ci-dessus, page 100) ; il en a dû être de même pour la portion inférieure de la croûte terrestre, et le bénéfice en nouvelles roches cristallines, à chaque époque successive, n'a fait que contre-balancer la perte résultant de la fusion de matières antérieurement consolidées. Quant à l'ancienneté relative des fondements cristallins de la croûte terrestre

comparée à celle des roches fossilifères et volcaniques qu'ils supportent, j'ai déjà prouvé, dans le premier chapitre, que formuler une opinion sur ce sujet est chose aussi difficile que de décider si, dans une ancienne ville bâtie sur pilotis, ce sont les fondements ou bien les étages qui sont les plus anciens. Nous avons vu que, pour répondre à cette question, il fallait d'abord être prêt à dire si le travail de destruction et de restauration avait eu lieu plus rapidement dessus ou dessous; si la durée des pilotis avait dépassé celle des constructions en pierres, ou avait été moindre. Il en est de même quant à l'âge relatif des portions supérieure et inférieure de la croûte terrestre; nous ne pouvons hasarder même une simple conjecture jusqu'à ce que nous sachions laquelle, de l'eau agissant en dessus, ou de la chaleur qui agit en dessous, est la plus efficace pour donner de nouvelles formes à la matière solide.

Après les observations qui précèdent, le lecteur comprendra que l'on peut renoncer entièrement au mot primaire, ou qu'on doit, s'il est conservé, le définir différemment, et ne point l'employer pour désigner un groupe de roches cristallines dont quelques-unes sont certainement plus récentes qu'aucune des formations secondaires. Dans cet ouvrage, je suivrai presque constamment la méthode proposée par M. Boué, qui réunit sous le nom de *primaires* toutes les roches *fossilifères* plus anciennes que les secondaires. Pour prévenir la confusion, j'emploierai quelquefois, en expliquant ces dernières, le nom de formations *primaires fossilifères*, car le mot primaire a généralement impliqué, jusqu'à ce jour, l'idée d'une roche non fossilifère. Dans le même but, certains géologues, tout en conservant les expressions de secondaire et tertiaire, ont substitué au mot primaire celui de *paléozoïque* (de παλαιὸν, ancien, et ζῶον, être organisé). M. Phillips, par esprit d'uniformité, a proposé, pour secondaire, le terme *mésozoïque* (dérivé de μέσος, milieu, etc.), et pour tertiaire, *caïnozoïque* (de καινὸς, récent, etc); mais les mots primaire, secondaire et tertiaire sont syno-

nymes des précédents, et ils ont pour eux le droit de priorité.

Toute roche plutonique, volcanique ou métamorphique, que nous prouverons être plus ancienne que les formations secondaires, sera donc pour nous une roche primaire. M. Boué ayant, avec raison, exclu *comme classe*, des formations primaires, les roches métamorphiques, a proposé de les appeler *schistes cristallins*.

De même qu'il y a des couches fossilifères secondaires, de même aussi il existe des roches plutoniques, volcaniques et métamorphiques contemporaines des précédentes; nous leur appliquerons le mot de *secondaires*.

Dans le prochain chapitre, nous ferons voir que les couches supérieures à la craie ont été appelées tertiaires. Si, donc, nous découvrons quelques roches volcaniques, plutoniques ou métamorphiques, qui aient été engendrées depuis le dépôt de la craie, nous les rangerons encore dans les formations tertiaires.

On objectera peut-être que certaines couches métamorphiques et quelques granits sont antérieurs aux roches fossilifères primaires les plus anciennes. Cette opinion est sans doute fondée, et sera discutée dans les chapitres suivants; mais je dois faire observer ici que, lorsque nous disposons dans un tableau chronologiques les quatre classes de roches en quatre colonnes parallèles, nouus ne prétendons pas que ces quatre colonnes soient de longueur égale; l'une d'elles peut commencer plus bas, et une autre remonter plus haut, dans la suite des temps. Dans la faible portion du globe qui a été reconnue jusqu'à ce jour, il est difficile que l'on ait découvert les membres les plus anciens ou les plus nouveaux de chacune des quatre classes de roches. Ainsi, nous savons qu'il existe des roches primaires, secondaires et tertiaires de la classe de celles qui ont été formées par l'eau ou qui sont fossilifères, et, de même, des formations primaires, secondaires et tertiaires hypogènes; mais nous pouvons ne pas connaître encore les plus anciennes des couches primaires fossilifères ou les plus modernes des couches hypogènes.

CHAPITRE IX

SUR LES DIFFÉRENTS AGES DES ROCHES AQUEUSES.

Des trois caractères principaux qui distinguent l'âge relatif. — Superposition, caractère minéralogique et fossiles. — Changements des caractères minéralogique et paléontologique dans la même formation. — Preuves de l'existence d'espèces différentes d'animaux et de plantes aux époques successives. — Circonscriptions distinctes d'espèces indigènes. — Extension considérable de simples circonscriptions. — Des lois semblables ont prévalu aux époques géologiques successives. — Importance relative des caractères minéralogiques et paléontologiques. — Indication de l'âge des roches par les fragments qu'elles renferment. — Absence fréquente de couches appartenant à des périodes intermédiaires. — Principaux groupes de couches dans l'Europe occidentale. — Table synoptique des couches fossilifères.

Dans le dernier chapitre, j'ai parlé d'une manière générale des rapports chronologiques des quatre grandes classes de roches; maintenant, je vais traiter des roches aqueuses en particulier, ou des périodes successives pendant lesquelles les différentes formations fossilifères ont été déposées.

Trois caractères principaux peuvent servir à déterminer l'âge d'un groupe de couches : d'abord la superposition, puis le caractère minéralogique, et enfin les débris organiques. Une quatrième sorte de caractère peut fournir accidentellement quelques lumières : c'est l'existence, au sein d'un dépôt, de fragments appartenant à une roche préexistante; elle permet d'établir l'âge relatif des deux roches, même en l'absence de tout autre témoignage.

Superposition. — Pour déterminer l'âge d'un dépôt aqueux comparativement à celui d'un autre dépôt de même genre, le principal caractère est la position relative. Nous avons déjà dit que, dans une série de couches horizontales, la première en commençant par le haut était la plus nouvelle, et la dernière la plus ancienne. Les séries de formations sédimentaires sont comme les tomes successifs d'une

histoire, que chaque écrivain, après avoir retracé les événements de son siècle, aurait renversés sur le tome renfermant les annales de la période précédente, de telle sorte, que la dernière page se trouverait en dessus. De cette façon, une haute pile de chroniques s'accumulerait à la longue, et sa position suffirait pour indiquer l'ordre et la suite des événements qui y seraient relatés.

Il existe toutefois des régions où, comme nous l'avons déjà dit, les couches ont été dérangées, disloquées, quelquefois même tout à fait renversées (voyez pages 94, 95) ; mais un géologue expérimenté ne se laisse pas facilement égarer par ces cas exceptionnels. Lorsqu'il rencontre des couches fracturées, recourbées, inclinées ou verticales, il sait à l'avance qu'il lui faut rechercher l'ordre primitif de superposition, et il s'efforce de trouver dans quelque district du voisinage des coupes où les couches soient restées horizontales ou légèrement inclinées. Ce n'est qu'après y avoir réussi qu'il connaît l'ordre véritable de succession de la série des dépôts, et possède la clef qui établit la chronologie des couches, même sur les points où le déplacement est le plus considérable.

Caractère minéralogique. — Si les couches que forment les roches ne sont pas dérangées, celles-ci conservent souvent un caractère minéralogique identique sur une étendue de plusieurs kilomètres, ou même de plusieurs centaines de kilomètres, dans le sens horizontal; mais, dans le sens vertical, ou dans toute direction oblique aux plans de stratification, cette identité cesse presque immédiatement, et l'on ne peut pénétrer dans la masse stratifiée, à une profondeur de quelques centaines de mètres, sans rencontrer une succession de roches extrêmement différentes, les unes à grain fin, les autres à grain grossier, quelques-unes d'origine mécanique, d'autres d'origine chimique ; ici la roche est calcaire, plus loin elle est argileuse, ailleurs elle est siliceuse. Cette circonstance mène à conclure que les rivières et les torrents ont répandu le même sédiment sur de vastes

surfaces durant la même période géologique, mais qu'à des époques successives ils ont déposé dans une région donnée, des matières très-différentes. Les premiers observateurs ont été si vivement frappés des grandes étendues sur lesquelles on peut suivre la même roche homogène dans une direction horizontale, qu'ils en ont conclu sans hésiter que le globe entier avait été enveloppé d'une succession de formations aqueuses, distinctes, disposées autour du noyau de la planète comme les couches concentriques d'un oignon. Mais, bien qu'en réalité quelques formations soient continues sur des surfaces grandes comme la moitié de l'Europe, et même au delà, la plupart d'entre elles sont resserrées dans des limites beaucoup plus étroites, ou changent bientôt de caractère lithologique. Quelquefois elles s'amincissent graduellement comme si l'apport du sédiment eût diminué, ou bien elles finissent brusquement comme si elles eussent atteint le bord de l'ancienne mer ou de l'ancien lac qui leur servait de réceptacle. Il n'est pas rare non plus de les voir varier d'aspect minéralogique et de composition dans le sens horizontal. Par exemple, un calcaire pourra, sur une longueur de 150 kilomètres, devenir de plus en plus arénacé jusqu'à ce qu'il passe à l'état de sable ou à celui de grès ; et, à son tour, ce grès, dont la continuité avec le calcaire indique qu'il est du même âge, se continuera sur une semblable étendue, ou même plus encore.

Débris organiques. — Ce caractère peut être utilisé comme criterium de l'âge d'une formation ou de l'origine contemporaine de deux dépôts sur des points séparés : on fera toutefois les mêmes réserves que pour le caractère minéralogique.

D'abord, lorsqu'on suit les couches dans la direction de leurs plans, on peut rencontrer les mêmes fossiles, sinon sur des surfaces illimitées, du moins sur de très-vastes espaces.

En second lieu, tandis que les mêmes fossiles dominent dans un groupe particulier de couches, sur une longueur de

plusieurs centaines de kilomètres dans le sens horizontal, on rencontre rarement les mêmes débris sur une profondeur de plusieurs mètres, et très-rarement sur celle de plusieurs centaines de mètres, dans la ligne verticale ou transversale des couches. Ce fait a été constaté dans presque toutes les parties du globe, et l'on en a conclu qu'à différentes époques, la même surface, inondée ou exondée, avait été habitée par des espèces d'animaux et de plantes plus différentes entre elles que celles qui peuplent aujourd'hui les antipodes, ou qui coexistent dans les zones arctique, tempérée et tropicale. Il y aurait eu, à dater des temps les plus reculés, des apparitions successives de nouvelles formes organiques, et des destructions correspondantes de formes préexistantes; quelques espèces se seraient maintenues plus longtemps, d'autres auraient eu une durée plus courte, mais aucune n'aurait réapparu après avoir été anéantie. La loi qui aurait régi la succession des espèces, que nous adoptions ou que nous rejetions la théorie de la transmutation, semble exprimée dans ce vers du poëte :

Natura il fece, e poi ruppe la stampa.
(ARIOSTO.)

« La nature le créa, et puis brisa le moule. »

Cette circonstance donne aux fossiles la plus haute valeur comme caractère chronologique, en conférant à chacun d'eux cette autorité qui appartient, dans l'histoire, aux médailles contemporaines des événements.

On ne peut en dire autant de chaque variété particulière de roches; quelques-unes, par exemple la marne rouge et le grès rouge, se rencontrent à la fois au sommet, à la base et au milieu de la série sédimentaire, et montrent sur chacun de ces points une identité minéralogique si complète, que l'on ne saurait les distinguer. Toutefois, comme des retours aussi exacts des mêmes matières de sédiment n'ont eu lieu que rarement, à des époques éloignées, sur un

même point du globe, on court, même dans les endroits où ils se sont produits, peu de risque de confondre les époques de dépôts, si l'on peut étudier les fossiles et la position relative des couches.

Nous avons fait remarquer que les mêmes espèces de débris organiques ne pouvaient se continuer horizontalement, c'est-à-dire dans la direction des plans de stratification, sur des surfaces infinies; l'analogie demandait qu'il en fût ainsi, car, lorsqu'on examine la distribution actuelle des êtres vivants, on trouve que la surface habitable de la mer et de la terre est divisée en un nombre considérable de provinces distinctes, peuplées, chacune, par un ensemble particulier d'animaux et de plantes. Dans les *Principes de géologie*, je me suis efforcé de déterminer l'étendue et l'origine probables de ces circonscriptions; j'ai démontré que le climat n'était que l'une des nombreuses causes qui les produisent, et que la différence de longitude, aussi bien que celle de latitude, était généralement accompagnée d'une dissemblance dans les espèces indigènes.

Si donc, les différentes mers ou lacs sont habités, pendant la même période, par des espèces différentes d'animaux et de plantes aquatiques, et si les terres environnantes sont peuplées elles-mêmes d'espèces terrestres distinctes, il s'ensuit qu'on pourra trouver des fossiles distincts enfouis dans des dépôts contemporains. S'il en était autrement, si les mêmes espèces abondaient dans chaque climat et dans chaque partie du globe où se trouveraient réunies la correspondance de température et les autres conditions favorables à leur développement, la détermination de la contemporanéité des masses minérales, au moyen de leurs contenus organiques, offrirait bien plus de certitude.

Néanmoins, l'étendue de certaines provinces zoologiques particulières, spécialement de celles qui sont habitées par des animaux marins, est aujourd'hui très-considérable; nos recherches géologiques ont démontré que les mêmes lois ont prévalu à des époques éloignées, car les fossiles sont

souvent identiques sur de vastes surfaces, et même dans des dépôts séparés de roches qui varient entre elles du tout au tout quant à leur nature minéralogique.

On comprendra mieux les considérations qui précèdent si l'on réfléchit à ce qui se passe actuellement dans la Méditerranée. Cette mer peut être considérée comme une seule province zoologique; car, bien que certaines espèces de testacés et de zoophytes y soient très-locales, et que chaque région ait probablement quelques espèces qui lui soient propres, un nombre considérable des mêmes êtres organisés se rencontre sur toute son étendue. Que le lit de cette mer vienne un jour à être mis à sec, et les débris organiques fourniront aux géologues un moyen sûr de déterminer l'origine contemporaine des masses minérales variées répandues sur un espace qui égale la moitié de l'Europe.

On sait que des dépôts sont aujourd'hui en voie de formation dans les deltas du Pô, du Rhône, du Nil et d'autres fleuves qui diffèrent les uns des autres par la nature de leur sédiment, suivant la composition des montagnes où ils prennent leur source. Il existe encore d'autres points de la Méditerranée, tels que la côte de Campanie, le voisinage de l'Etna en Sicile, ou l'Archipel grec, sur lesquels une autre classe de roches est en voie de formation. Des pluies de cendres volcaniques y tombent accidentellement dans la mer, et des courants de lave coulent sur le fond; en outre, dans l'intervalle des éruptions, des lits de sable et d'argile s'y accumulent fréquemment par suite de la destruction des falaises, ou de l'afflux des eaux troubles des rivières; enfin, des calcaires, tels que les travertins italiens, se précipitent çà et là des sources minérales qui sourdent du fond de la mer. Toutes ces formations séparées, si diverses par leurs caractères lithologiques, renferment les débris des mêmes coquilles, coraux, crustacés et poissons; ou, du moins, les débris communs aux différentes localités y sont en nombre assez considérable pour autoriser le géologue à les rapporter tous à un seul ensemble d'espèces contemporaines.

Certaines combinaisons dans les circonstances géographiques peuvent faire, cependant, que des provinces distinctes d'animaux et de plantes ne soient séparées l'une de l'autre que par des limites étroites, et des couches formées dans des régions contiguës différeront essentiellement quant à leur contenu minéralogique et à leurs débris organiques. Les testacés, zoophytes, et poissons de la mer Rouge, par exemple, sont, comme groupe, très-distincts de ceux qui habitent les parties adjacentes de la Méditerrannée, bien que les deux mers ne soient séparées que par l'isthme étroit de Suez. Parmi les coquilles bivalves, suivant Philippi, un cinquième seulement est commun à la Mer Rouge et à la mer qui entoure la Sicile, tandis que la proportion des univalves ou gastéropodes est encore plus faible et ne dépasse pas 18 pour 100. Des formations calcaires se sont accumulées sur une grande échelle dans la Mer Rouge, pendant les temps modernes, et renferment des coquilles fossiles d'espèces vivantes. Nous savons aussi qu'à l'embouchure du Nil s'amassent de larges dépôts de limon qui englobent des débris d'espèces Méditerranéennes. Si donc, à quelque époque future, le lit de la Mer Rouge venait à être mis à sec, l'observateur éprouverait de grandes difficultés à établir l'âge relatif de ces formations, dissemblables à la fois par leurs caractères organiques et minéralogiques, quoique ayant une origine contemporaine.

D'un autre côté, il ne faut pas oublier que les côtes nord-ouest du Golfe d'Arabie, les plaines de l'Égypte et l'isthme de Suez font partie d'une seule et même province d'espèces *terrestres;* et que de petits ruisseaux, des inondations accidentelles et les vents qui chassent des nuages de sable à travers les déserts, peuvent apporter dans la Mer Rouge les coquilles de testacés terrestres et fluviatiles que le Nil abandonne sur son delta, les mêler avec quelques débris de plantes terrestres et d'ossements de quadrupèdes, de telle sorte, que, malgré la réunion contradictoire de leur composition

minérale et de leurs fossiles *marins*, les groupes de couches nous offrent encore des preuves de leur contemporanéité.

Cependant, bien que les rivières puissent ainsi entraîner les mêmes dépouilles fluviatiles et terrestres dans plusieurs mers habitées par des espèces marines différentes, il sera bien plus fréquemment possible d'établir la contemporanéité d'espèces terrestres appartenant à des provinces zoologiques et botaniques dictinctes, par l'identité des êtres marins qui ont habité l'espace intermédiaire. Voyez les quadrupèdes terrestres et les coquilles du sud de l'Europe, du nord de l'Afrique et du nord-ouest de l'Asie ; ils diffèrent considérablement entre eux, et pourtant leurs débris sont portés ensemble au sein de la Méditerranée par les rivières qui parcourent ces régions.

Dans quelques parties du globe, de nos jours, la ligne de démarcation entre des provinces distinctes d'animaux et de plantes n'est pas parfaitement tranchée, surtout vers les points où les changements de faune et de flore sont déterminés par la température, comme dans les mers qui s'étendent de la zone tempérée à la zone tropicale, ou de la zone tempérée aux régions arctiques ; sur chacun de ces points on reconnaît le passage graduel d'un groupe d'espèces à l'autre. Aussi, n'est-ce qu'en étudiant des formations particulières d'époques éloignées les unes des autres que le géologue parvient quelquefois à saisir la transition d'une ancienne province à l'autre, après avoir observé les fossiles de tous les points intermédiaires. Le succès de ses investigations sur la géographie zoologique ou botanique de ces périodes éloignées dépendra principalement de cette circonstance, que le caractère minéralogique ne sera pas sujet à varier par le climat. Qu'une large rivière entraîne du limon jaune ou rouge vers quelque point de l'Océan, que ce limon soit ensuite dispersé par un courant sur une longueur de plusieurs centaines de lieues, de manière à passer des tropiques à la zone tempérée ; si le fond de la mer vient plus tard à s'élever, les débris organiques enfouis dans ces couches jaunes ou rouges

pourront indiquer les différents animaux ou plantes qui ont jadis habité en même temps des régions tempérées et des régions équatoriales.

Il se peut, en général, que des groupes de mêmes espèces d'animaux et de plantes s'étendent sur de plus larges surfaces que les dépôts de même composition; dans ce cas, les caractères paléontologiques auront plus d'importance dans la classification géologique que le caractère de la composition minérale. Mais il serait oiseux de discuter la valeur relative de ces caractères; ils se prêtent un secours mutuel, indispensable, et il arrive heureusement que, lorsque l'un d'eux vient à manquer, on peut souvent profiter de l'autre.

Caractère fourni par l'inclusion de fragments de roches plus anciennes. — Nous avons fait voir que l'on déduit quelquefois la preuve de l'âge relatif de deux formations, de ce que des fragments de roches anciennes sont renfermés dans une roche plus nouvelle. Cette preuve est, dans certains cas, d'une application très-utile, par exemple lorsque le géologue manque de coupes bien nettes qui indiquent le véritable ordre de position des formations dont il veut déterminer l'âge relatif, ou que les couches de chaque groupe affectent une direction verticale. Dans ces différents cas, on remarque quelquefois que les roches plus modernes dérivent en partie de la dégradation de roches plus anciennes. Ainsi, sur tel point d'une contrée, on rencontre de la craie avec silex, et, sur tel autre, une formation distincte, consistant en alternances d'argile, de sable et de galets. Si quelques-uns de ces galets sont des silex semblables aux précédents, renfermant des coquilles fossiles, des éponges et des foraminifères des mêmes espèces que celles de la craie, on est en droit de conclure que la craie est la plus ancienne des deux formations.

Groupes chronologiques. — Le nombre de groupes que l'on peut établir dans les couches fossilifères est plus ou moins considérable suivant le point de vue auquel on se place pour la classification; mais lorsqu'on a adopté un sys-

tème d'arrangement, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'on ne rencontre en superposition continue qu'un petit nombre des groupes de la série totale.

Nous avons expliqué (page 27) l'amincissement des couches; la figure 102 représente sept groupes fossilifères, au

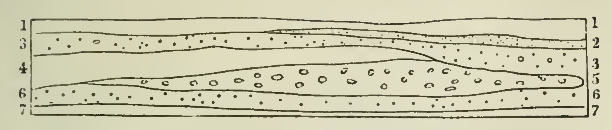


FIG. 102.

lieu d'un nombre égal de couches particulières. On observe, vers son milieu, toutes les formations en superposition ; mais, par suite de leur amincissement, quelques-unes, telles que les nos 2 et 5, manquent à l'une des extrémités de la coupe, et le n° 4 à l'autre extrémité.

Dans une autre figure (103), le lecteur verra une coupe réelle des formations du voisinage de Bristol et des collines

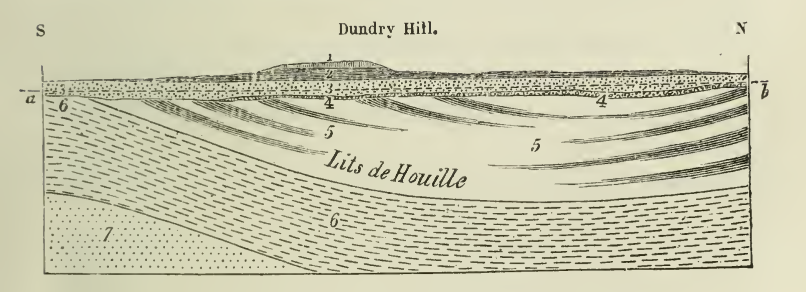


FIG. 103. — Section Sud de Bristol. (A.-C. Ramsay.)

Longueur de la section : 6,500 mètres. — *a*, *b* Niveau de la mer.

1. Oolithe inférieure. — 2. Lias. — 3. Nouveau Grès rouge. — 4. Conglomérat magnésien. — 5. Houille. — 6. Calcaire carbonifère. — 7. Vieux Gres rouge.

de Mendip, telle qu'elle a été dressée, sur sa véritable échelle, par le Professeur Ramsay. Les groupes les plus nouveaux, 1, 2, 3 et 4, reposent en stratification discordante sur les formations 5 et 6. Vers l'extrémité sud de la ligne de coupe, on aperçoit les couches n° 3 (Nouveau Grès Rouge) qui re-

posent immédiatement sur le n° 6, tandis que, plus au nord, comme à Dundry Hill, six groupes superposés comprennent toutes les couches, depuis l'Oolithe Inférieure jusqu'à la Houille et au Calcaire Carbonifère. L'étendue limitée des groupes 1 et 2 est due à la dénudation, car ces formations se terminent brusquement, laissant au loin quelques lambeaux, comme pour attester qu'elles ont eu jadis une étendue bien plus considérable.

Dans plusieurs cas, cependant, l'absence totale entre deux groupes d'une ou de plusieurs formations de périodes intermédiaires, telles que 3 et 5, résulte, non plus de la destruction de masses préexistantes, mais de ce que des couches d'un âge intermédiaire ne se sont jamais déposées sur la roche inférieure, soit que le pays fût terre ferme pendant ces périodes, soit qu'il fît partie d'une mer ou d'un lac qui ne recevait point de sédiment.

Donc, pour établir une succession chronologique de groupes fossilifères, le géologue doit commencer par une coupe isolée, offrant plusieurs séries de couches reposant l'une sur l'autre. Puis il suit ces couches, en se laissant conduire, par leur caractère minéralogique et leurs fossiles, aussi loin que possible du point de départ. Chaque fois qu'il rencontre de nouveaux groupes, il s'assure, par la superposition, de leur âge, relativement à ceux qu'il a déjà examinés, et arrive ainsi à les classer dans un tableau d'ensemble.

C'est par ce procédé que les géologues Allemands, Français et Anglais, ont déterminé la succession des couches sur une grande partie de l'Europe ; et c'est par suite de cette détermination qu'ils ont généralement adopté les groupes suivants, dont la plupart ont leurs représentants dans les Iles Britanniques.

Groupes des couches fossilifères observées dans l'Europe occidentale, classées par séries dites ascendantes, c'est-à-dire en commençant par les plus modernes. (Voyez un tableau plus détaillé, p. 163-171.)

1. Post-tertiaire, comprenant les couches récentes, et Post-Pliocènes..	Tertiaire, Supracrétacé (1) ou Caïnozoïque (2)......	NÉOXOÏQUE.
2. Pliocène........................		
3. Miocène........................		
4. Éocène........................		
5. Craie........................	Secondaire, ou Mésozoïque........................	
6. Grès vert et Weald................		
7. Oolithe Supérieure, y compris le Purbeck........................		
8. Oolithe Moyenne..................		
9. Oolithe Inférieure................		
10. Lias........................		
11. Trias........................		
12. Permien........................	Primaire..................	PALÉOZOÏQUE.
13. Houille........................		
14. Vieux Grès Rouge, ou Devonien....		
15. Silurien Supérieur................		
16. Silurien Inférieur................		
17. Cambrien et couches fossilifères plus anciennes....................		

On est loin de prétendre que les trois principales divisions du tableau ci-dessus, appelées primaire, secondaire et tertiaire, soient d'importance égale, ni que les dix-sept groupes subordonnés comprennent des monuments qui aient rapport à des quantités de temps égales, ou à des pages équivalentes de l'histoire de la terre. Mais on peut affirmer que ces groupes se rapportent chacun à des périodes successives durant lesquelles ont vécu certaines espèces animales et végétales, restreintes pour la plupart à leurs époques respectives, et durant lesquelles, aussi, des sédiments de différentes sortes se sont déposés dans l'espace maintenant occupé par l'Europe.

(1) Au lieu du mot *Tertiaire*, Sir H. de la Bêche a employé celui de *Supracrétacé;* ce mot implique l'idée de supériorité des couches ainsi nommées à celles de la craie.

(2) Pour l'explication du mot *Caïnozoïque*, voyez ci-dessus, p. 148.

Si, prenant pour base la paléontologie (1), nous voulions diviser la série fossilifère entière en quelques groupes moins nombreux que ceux du tableau ci-dessus, et caractérisés d'une manière plus stricte que les divisions appelées primaire, secondaire et tertiaire, nous pourrions peut-être adopter les huit groupes ou périodes que nous donnons dans le tableau suivant.

Mais je ferai observer que, dans l'état actuel de la science, à une époque où nous n'avons pu encore comparer les caractères fournis par toutes les classes de fossiles, pas même de ceux qui sont le plus largement répandus, tels que coquilles, coraux et poissons, de semblables généralisations seraient prématurées, et ne pourraient être admises que comme des conjectures ou des thèmes préparatoires pour l'établissement de grands groupes naturels.

Couches fossilifères de l'Europe occidentale divisées en huit groupes.

1° Post-tertiaire et tertiaire.........	Du Récent à l'Éocène inclusivement.
2° Crétacé............................	De la craie de Maëstricht au Weald inclusivement.
3° Oolithique.........................	Du Purbeck au Lias inclusivement.
4° Triasique..........................	Comprenant le Keuper, le Muschelkalk et le Buter-Sandstein des Allemands.
5° Permien et Carbonifère.............	Comprenant le Calcaire magnésien, le Terrain houiller et le Calcaire de montagne.
6° Devonien, ou Vieux Grès Rouge..	Depuis le Grès jaune de Fife jusqu'aux pierres à paver du Forfashire avec céphalaspis.
7° Silurien...........................	Depuis le Ludlow supérieur jusqu'au Calcaire Bala et au Schiste Graptolite.
8° Cambrien...........................	Depuis les Lingula flags ou zone primordiale de Barrande jusqu'aux roches fossilifères les plus inférieures que l'on connaisse.

La liste suivante, plus détaillée, où les couches fossilifères se trouvent divisées en un plus grand nombro de sections, sera plus utile au lecteur, lorsqu'il suivra, dans les dix-huit prochains chapitres, nos descriptions des formations sédimentaires.

(1) La Paléontologie est la science qui traite des débris organiques fossiles, animaux et végétaux. Étymologie : παλαίος, *palaios* (ancien), ὄντα, *onta* (êtres), et λόγος, *logos* (discours).

TABLEAU ABRÉGÉ DES COUCHES FOSSILIFÈRES.

Couches		Groupes		
1. Récent		**Post-tertiaire.**		
2. Post-Pliocène				
3. Nouveau Pliocène		**Pliocène**	TERTIAIRE ou CAÏNOZOÏQUE.	NÉOZOIQUE.
4. Vieux Pliocène				
5. Miocène supérieur		**Miocène**		
6. Miocène inférieur				
7. Éocène supérieur		**Éocène**		
8. Éocène moyen				
9. Éocène inférieur				
10. Couches de Maëstricht		**Crétacé**	SECONDAIRE ou MÉSOZOÏQUE.	
11. Craie blanche				
12. Grès vert supérieur				
13. Gault				
14. Grès vert inférieur				
15. Weald				
16. Lits de Purbeck		**Jurassique**		
17. Pierre de Portland				
18. Argile de Kimmeridge				
19. Coral Rag				
20. Argile d'Oxford				
21. Grande oolithe ou de Bath				
22. Oolithe inférieure				
23. Lias				
24. Trias supérieur		**Triasique**		
25. Trias moyen				
26. Trias inférieur				
27. Permien		**Permien.**	PRIMAIRE ou PALÉOZOÏQUE	PALÉOZOIQUE.
28. Étage houiller		**Carbonifère**		
29. Calcaire carbonifère				
30. Supérieur.	Devonien	**Devonien**		
31. Moyen				
32. Inférieur				
33. Supérieur.	Silurien	**Silurien**		
34. Moyen				
35. Inférieur				
36. Supérieur.	Cambrien	**Cambrien**		
37. Inférieur				
38. Supérieur.	Laurentien	**Laurentien**		
39. Inférieur				

TABLEAU SYNOPTIQUE DES COUCHES FOSSILIFÈRES

MONTRANT L'ORDRE DE SUPERPOSITION OU DE SUCCESSION CHRONOLOGIQUE DES PRINCIPAUX GROUPES, AVEC RENVOIS AUX PAGES OU CES GROUPES SONT DÉCRITS DANS CET OUVRAGE.

POST-TERTIAIRE.

(Terrains contemporains et quaternaires.)

		Exemples :	
POST-TERTIAIRE.	1. RÉCENT.	ANGLETERRE. — Couches marines, avec débris humains, sur la côte du Cornouailles (p. 175, t. I). Couches marines avec débris de canots, dans l'estuaire de la Clyde (p. 175, t. I). ETRANGER. — Tourbe Danoise (*Kitchen-middens*) avec objets de bronze et de pierre (p. 176, t. I). Limon lacustre, avec restes d'habitations, comme dans les lacs de la Suisse, et objets de pierre et de métal (p. 177, t. I). Couches marines comprenant le temple de Sérapis, à Pouzzoles (p. 174, t. I). Couches lacustres de Cachemire (p. 174, t. I).	Coquilles et mammifères, tous d'espèces vivantes.
	2. POST-PLIOCENE.	ANGLETERRE. — Limon de la caverne de Brixham, avec couteaux en silex et ossements de quadrupèdes, en partie d'espèces éteintes, en partie d'espèces vivantes (p. 201, t. I). Gravier de vallée ou ancienne alluvion de la Tamise et de l'Ouse, avec ustensiles en pierre (p. 185, t. I). Drift glaciaire d'Ecosse, avec coquilles marines (p. 247, t. I). Formation de transport des rochers de Norfolk (p. 259, t. I), Lits forestiers des falaises de Norfolk, avec ossements d'éléphants, etc. (p. 261, t. I). Drift glaciaire des Galles, avec coquilles marines fossiles, à une hauteur environ de 410 mètres, sur le Moel Tryfaen (p. 256, t. I). ETRANGER. — Anciens graviers de vallée, d'Amiens, avec outils en silex et ossements de mammifères éteints (p. 186, t. I). Loess du Rhin (p. 191, 193, t. I). Ancien limon du Nil formant des terrasses de rivière (p. 190, t. I).	Coquilles, Mammifères récents en partie éteints.

		Exemples :	
POST-TERTIAIRE.	2. POST-PLIOCÈNE.	Couches marines de Sardaigne, 90 mètres au-dessus du niveau de la mer, avec poteries et ossements de quadrupèdes éteints (p. 195, t. I). Limon et brèche des cavernes de Liége, avec restes humains et avec ossements de mammifères éteints et récents (p. 199, t. I). Brèches des cavernes d'Australie, avec ossements de marsupiaux éteints (p. 203, t. I). Drift glaciaire de l'Europe septentrionale (p. 230, 241, t. I). Dépôts d'eau douce post-glaciaires du nord de l'Amérique, avec restes de mastodonte (p. 268, t. I).	Coquilles, Mammifères récents en partie éteints.

TERTIAIRE.

(Terrains tertiaires.)

PLIOCÈNE.	3. NOUVEAU PLIOCÈNE.	ANGLETERRE. — Crag marin de Norwich, avec 11 pour 100 de coquilles d'espèces éteintes et ossements du *Mastodon arvernensis*, etc. (p. 320, t. I). Lits de Chillesford, avec coquilles marines, 9 pour 100 d'espèces éteintes; les espèces vivantes appartiennent principalement à celles des régions arctiques (p. 321, t. I). Lits de Bridlington, faune marine arctique, commencement de l'époque glaciaire (p. 322, t. I). ETRANGER. — Tufs d'Ischia (p. 307, t. I). Cône du Monte-Somma (p. 308, t. I). Base orientale du mont Etna (p. 308, t. I). Couches calcaires et argileuses, tufs volcaniques de Sicile, avec coquilles dont 10 à 30 pour 100 d'espèces éteintes (p. 311, t. I). Couches lacustres de la vallée supérieure de l'Arno, avec *Mastodon arvernensis*, etc. (p. 316, t. I).	(Ischia, Monte-Somma, Etna :) Coquilles marines dont 1 à 7 pour 100 d'espèces éteintes.
	4. VIEUX PLIOCÈNE.	ANGLETERRE. — Crag rouge de Suffolk, avec coquilles marines, quelques-unes d'une forme semblable à celles du nord, 40 pour 100 d'espèces éteintes (p. 323, 331, t. I). Crag blanc ou corallin de Suffolk, avec testacés moins septentrionaux, 48 pour 100 d'espèces éteintes. ETRANGER. — Crag supérieur et moyen d'Anvers, avec coquilles, de 40 à 50 p. 100 d'espèces éteintes, et ossements nombreux de cétacés (p. 333, t. I). Marnes et sables subapennins (p. 335, t. I). Formations Aralo-Caspiennes d'eau saumâtre (p. 339, t. I).	
MIOCÈNE.	5. MIOCÈNE SUPÉRIEUR.	ANGLETERRE. — *a.* Sables ferrugineux des North Downs? (p. 376, t. I). ETRANGER. — *a.* Lits d'Edeghem, Anvers, avec coquilles contenant 61 pour 100 d'espèces éteintes (p. 374, t. I). *a.* Sables de Diest (p. 375, t. I). Couches de Bolderberg, en Belgique (p. 376, t. I).	

		Exemples :
MIOCÈNE.	5. MIOCÈNE SUPÉRIEUR.	Faluns de Touraine, avec testacés de caractère sous-tropical, *Dinotherium*, etc. (p. 342, t. I). Faluns particuliers de Bordeaux (p. 370, t. I). Couches d'eau douce du Gers, avec restes de quadrumanes (p. 372, t. I). Sables d'Eppelsheim, avec quadrupèdes faluniens (p. 388, t. I). Bassin de Vienne, avec coquilles dont les quatre cinquièmes sont d'espèces éteintes, et avec le *Dinotherium* (p. 389, t. I). Lits de Superga, près Turin (p. 394, t. I). Dépôt à Pikermé, près d'Athènes, avec des pachydermes fossiles et des abeilles (p. 395, t. I). Lits d'OEningen, en Suisse, riches en plantes et en insectes (p. 396, 403, t. I). Molasse marine, en Suisse (p. 410, t. I). Collines de Siwâlick, avec coquilles d'eau douce et quadrupèdes éteints (p. 439, t. I). Couches marines des bords de l'Atlantique dans les Etats-Unis (p. 441, t. I). Tuf volcanique et calcaire de Madère, des Canaries et des Açores (p. 389, t. II).
	6. MIOCÈNE INFÉRIEUR.	Angleterre.— Lits d'Hempstead, couches marines et d'eau douce (p. 382, t. I). Lignites et argiles de Bovey Tracey, plantes de caractère sous-tropical (p. 384, t. I). Lit à feuilles de l'île de Mull, tuf volcanique (p. 386, t. I). Etranger. — Calcaire de la Beauce, etc. (p. 348, t. I). Grès de Fontainebleau (p. 348, t. I). Couches lacustres de la Limagne d'Auvergne (p. 356, t. I) et du Cantal (p. 367, t. I). Couches marines inférieures et saumâtres de Bordeaux, avec *Cerithium plicatum*, etc. (p. 371, t. I). Bassin de Mayence, calcaire Littorinella, et marnes avec *Cyrena semistriata*, etc. (p. 389, t. I). Lits de Radaboj, en Croatie, avec plantes fossiles et insectes (p. 391, t. I). Lignite d'Allemagne (p. 393, t. I). Molasse inférieure en Suisse, d'eau douce et saumâtre, avec flore sous-tropicale (p. 411-418, t. I). Lits Rupéliens de Dumont, avec *Leda Deshayesiana*, etc. (p. 379, t. I). Lits du Limbourg moyen (Kleyn Spawen) (Tongrien supérieur de Dumont), avec coquilles marines et d'eau douce (p. 380, t. I). Limbourg inférieur (Tongrien inférienr de Dumont), avec coquilles marines, un tiers se compose de coquilles communes à l'Eocène supérieur (p. 380, t. I). Lits de Nebraska, avec ossements de quadrupèdes éteints et de chéloniens (p. 444, t. I).
EOCÈNE.	7. ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.	Angleterre. — 1. Bembridge, couches fluvio-marines, avec *Paleotherium*, etc. (p. 448, t. I). 2. Série d'Osborne ou de Sainte-Hélène (p. 451, t. I). 3. Série de Headon, avec coquilles marines et d'eau douce (p. 451, t. I). 4. Argile de Barton, avec nummulites (p. 455, t. I). Etranger. — 1. Gypse de Montmartre, avec coquilles d'eau donce et *Paleotherium* (p. 472, t. I). 2. Calcaire siliceux ou Travertin inférieur (p. 478, t. I). 3. Grès de Beauchamp ou Sables moyens (p. 478, t. I).

Exemples :

EOCÈNE.

8. ÉOCÈNE MOYEN.

ANGLETERRE. — 1. Couches de Bagshot et de Bracklesham (p. 457, t. I).
2. Argiles blanches de Alum Bay, avec plantes d'espèces tropicales (p. 460, t. I).
ETRANGER. — 1. Calcaire grossier, calcaire miliolitique (p. 479, t. I).
2. Sables Soissonnais ou lits coquilliers, avec *Nummulites planulata* (p. 481, t. I).
3. Couches de Glaiborne, dans les États-Unis, avec *Orbitoïdes* et *Zeuglodon* (p. 488, t. I).

9. ÉOCÈNE INFÉRIEUR.

ANGLETERRE. — 1. Argile propre de Londres, avec coquilles, poissons et plantes des types sous-tropicaux (p. 462, t. I).
2. Argiles plastiques ou bigarrées de Woolwich, fluvio-marines (p. 467, t. I).
3. Sables de Thanet, avec *Pholadomya*, etc. (p. 470, t. I).
ETRANGER. — 1. Argile de Londres, près de Dunkirk (p. 470, t. I).
2. Argile plastique, avec *Gastornensis Pariensis* (p. 483, t. I).
3. Sables de Bracheux, avec *Arctocyon primævus* (p. 483, t. I).

SECONDAIRE.

(Terrains secondaires.)

Exemples :

CRÉTACÉ.
(Terrains crétacés.)

10. CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

ANGLETERRE. — 1. Manque en Angleterre.
2. Craie blanche avec silex, marine (p. 508, I).
3. Marne crayeuse, marine (p. 519, t. I).
4. Grès vert supérieur, pierre à feu de Surrey, marin (p. 519, t. I).
5. Gault, marne bleu foncé du sud-est de l'Angleterre (p. 520, t. I).
Lits de Blackdown d'origine littorale (p. 520, I).
ETRANGER. — 1. Couches de Maëstricht, avec *Mosasaurus* (p. 497, t. I).
Craie de Faxoe, avec *Nautilus Danicus*, etc. (p. 499, t. I).
2. Craie blanche de France, de Suède et de Russie (p. 500, t. I).
3. Planer-kalk de Saxe (p. 511, t. I).
2 et 3. Sables et argiles d'Aix-la-Chapelle, avec prépondérance d'*Angiospermes dycotylédones* (p. 522, t. I).
4. Quader-sandstein d'Allemagne (p. 525, t. I).
5. Gault de la Loire (p. 519, t. I).
2 et 3. Calcaire hippurite du midi de la France (p. 526, t. I).
2 à 5. Sables et marnes de New-Jersey (Etats-Unis) (p. 530, t. I).
2 à 5. Calcaire siliceux du Texas (p. 532, t. I).

11. CRÉTACÉ INFÉRIEUR ou NÉOCOMIEN.

ANGLETERRE. — 1. Sables verts et ferrugineux (p. 533, t. I).
Pierre calcaire, *rag du Kent* (p. 554, t. I).
Couches marines d'Atherfield, avec *Perna Mulleti* (p. 535, t. I).
2. Argile Wealdienne du Surrey, du Kent et du Sussex, couches d'eau douce avec *Cypris* (p. 540, I).
Sables d'Hastings (couches de Tunbridge et d'Ashburnham) d'eau douce, avec *Iguanodon Mantelli* (p. 544, t. I).
ETRANGER. — 1. Néocomien de Neufchâtel (p. 533, t. I).
2. Lits Wealdiens de Hanovre (p. 548, t. I).

		Exemples :
OOLITHE. (Terrains en partie jurassiques.)	**12.** OOLITHE SUPÉRIEURE.	Angleterre. — Couches du Purbeck supérieur, d'eau douce, marbre de Purbeck (p. 589, t. I). Purbeck moyen fluvio-marin, avec de nombreux quadrupèdes marsupiaux (p. 590, t. I). Purbeck inférieur d'eau douce, avec couche végétale (*dirt-bed*) intercalée (p. 604, t. I). Pierre de Portland et sable (p. 610, t. I). Argile de Kimmeridge, schiste bitumineux, avec coquilles marines, 24 pour 100 d'espèces communes à l'oolithe moyenne (p. 611, t. I). Etranger. — Marnes à gryphées virgules de l'Argonne (p. 612, t. I). Pierre lithographique de Solenhofen, avec *Archæopterix* (p. 613, t. I).
	13. OOLITHE MOYENNE.	Angleterre. — Coral rag de Berkshire, Wilts et Yorkshire (p. 617, t. I). Argile d'Oxford, avec bélemnites et ammonites (p. 618, t. I). Roche de Kelloway, de Wilts et du Yorkshire, avec coquilles, 21 pour 100 communes à l'Oolithe inférieure (p. 619, t. I). Etranger. — Calcaire nérinéen du Jura. Calcaire Dicéras des Alpes (p. 617, t. I).
	14. OOLITHE INFÉRIEURE.	Angleterre. — Cornbrash et Forest Marble de Wilts et du Gloucestershire (p. 620, t. I). Grande oolithe de Bradfort, avec encrinite, etc. (p. 622, t. I). Schiste de Stonesfield, avec Marsupiaux et *Araucaria* (p. 626, t. I). Terre à foulon de Bath, avec *Ostrea acuminata* (p. 634, t. I). Oolithe inférieure, avec 24 pour 100 de coquilles communes à la grande Oolithe (p. 634, t. I).
LIAS. (Terrains en partie jurassiques.)	**15.** LIAS.	Lias supérieur, argileux, avec *Ammonites striatulus*, *Spirifer* et *Leptœna* (p. 4, t. II). Schiste et calcaire, avec *Ammonites bifrons* (p. 6, t. II). Pierre marneuse ou Lias moyen, pouvant se diviser en trois zones, avec *Ammonites* caractéristiques (p. 2, t. II). Lias inférieur. se divisant en six zones. *Ammonites Bucklandi*, dans la zone inférieure seulement, et *A. Planorbis* dans cette même zone (p. 2, t. II).
TRIAS. (Nouveau grès rouge.)	**16.** TRIAS SUPÉRIEUR.	Angleterre. — Couches de Penarth, avec *Avicula contorta* — Lias blanc, avec poissons du geure *Hybodus*, etc. (p. 38, t. II). Conglomérat dolomitique de Bristol, avec *Thécodontosaurus*, etc. (p. 45, t. II). Argile rouge avec lits épais de sel, à Nortwich, dans le Cheshire (p. 48, t. II). Etranger. — Keuper des Allemands, avec *Microlestes* et poissons des genres *Hybodus*, etc. (p. 25, t. II). Couches de Saint-Cassian ou de Hallstadt, avec une faune marine riche (p. 27, t. II). Bassin houiller de Richmond, en Virginie, avec *Estheria ovata* et plantes ressemblant à celles du Keuper Européen (p. 53, t. II). Bassin houiller de Chatham, dans la Caroline septentrionale, avec *Dromatherium* (p. 62, t. II).
	17. TRIAS MOYEN.	Angleterre. — Manque en Angleterre. Etranger. — Muschelkalk des Allemands, avec *Encrinus liliiformis* et *Placodus gigas* (p. 33, t. II).

		Exemples :
TRIAS. (Nouveau grès rouge.)	18. TRIAS INFÉRIEUR.	ANGLETERRE. — Nouveau grès rouge du Lancashire et du Cheshire, avec *Labyrinthodon* et empreintes de pas de *Cheirotherium* (p. 40, t. II). ETRANGER. — Bunter-sandstein des Allemands, avec empreintes de *Labyrinthodon* (p. 36, t. II). Grès rouge de la vallée du Connecticut, avec empreintes d'oiseaux et de reptiles (p. 55, t. II).

PRIMAIRE.

(Terrains paléozoïques.)

		Exemples :
PERMIEN.	19. PERMIEN.	ANGLETERRE. — 1. Calcaire magnésien concrétionné de Durham et du Yorkshire (p. 65, t. II . 2. Calcaire magnésien à brèches de la falaise de Tynemouth, etc. (p. 66, t. II). 3. Calcaire magnésien fossilifère, avec *Fenestella retiformis* (p. 67, t. II). 4. Calcaire magnésien compacte (p. 68, t. II). 5. Ardoise marneuse de Durham, avec poissons *hétérocerques* (p. 70, t. II). 6. Grès inférieurs, avec plantes ressemblant à celles des terrains houillers, mais d'espèces différentes (p. 70, t. II). ETRANGER.—1. Stinkstein de Thuringe (p. 75, II). 2. Rauchwacke, *ibid.* (p. 65, t. II). 3. Dolomite ou Zechstein Supérieur (p. 65, II). 4. Zechstein ou Zechstein Inférieur (p. 65, II). 5. Mergel-schiefer ou Kupferschiefer, avec *Protorosaurus* (p. 65, t. II). 6. Roth-liegendes de Thuringe, avec *Psanorius* (p. 65, t. II). Calcaires magnésiens, etc., de Russie (p. 64, II).
CARBONIFÈRE,	20. CARBONIFÈRE SUPÉRIEUR.	ANGLETERRE. — Lits de houille des Galles Sud, avec argiles sous-jacentes renfermant des *Stigmaria* (p. 77, t. II). Terrain houiller de Coalbrook Dale (p. 116, II). Millstone grit (p. 75, t. II). Roches carbonifères d'Irlande (p. 76, t. II). ETRANGER. — Bassin houiller de Saint-Etienne, avec arbres fossiles debout (p. 100, t. II). Bassin houiller de Saarbruck, avec *Archegosaurus* (p. 135, t. II). Couches carbonifères de la Nouvelle-Ecosse, avec forêts fossiles et coquilles terrestres, *Pupa vetusta* (p. 143, t. II). Bassin houiller des Apalaches, 1,100 kilomètres de long sur 280 kilomètres de large, avec empreintes de Cheirotherium (p. 129, t. II).
	21. CARBONIFÈRE INFÉRIEUR.	ANGLETERRE. — Calcaire de montagne des Galles et de l'Angleterre méridionale, avec fossiles marins, principalement coraux et crinoïdes (p. 149, t. II). Mêmes couches dans le Sommersetshire et en Irlande, avec lits de poissons (p. 158, t. II). Calcaire carbonifère d'Ecosse alternant avec des grès à houille (p. 76, t. II). ETRANGER. — Calcaire de montagne en Belgique (p. 156, t. II). Kiesel-schiefer et Jungere Grauwacke d'Allemagne, avec des *Posidonamya Becheri* (p. 159, t. II). Lits gypseux et calcaire Encrinitique, dans la Nouvelle-Ecosse (p. 160, t. II).

		Exemples :
DEVONIEN ou VIEUX GRÈS ROUGE. (*Terrain devonien, vieux grès rouge.*)	22. DEVONIEN SUPÉRIEUR.	ANGLETERRE. — Grès jaune de Dura-Den, avec *Glyptolœmus* (p. 162, t. II), et de Kilkenny, avec poissons fossiles (p. 162, t. II). Groupe Pilton, du Devon septentrional, avec *Spirifer disjunctus* (p. 181, t. II). Groupe Peterwyn, du Cornouailles avec *Clymenia* et *Cypriadina* (p. 182, t. II). ETRANGER. — Clyménien-kalk et Cypridinen-schiefer des Allemands (p. 182, t. II). Calcaires du Fichtelgebirge, avec trilobites des genres *Brontes* (p. 183, t. II). Groupe Catskill et Chemung, de New-York (Etats-Unis) (p. 191, t. II).
	23. DEVONIEN MOYEN.	ANGLETERRE.— Grès du Forfarshire et du Perthshire, avec *Holoptychius*, etc. (p. 164. t. II). Groupes bitumineux de Gamrie, de Caithness, etc., avec de nombreux poissons (p. 172, t. II). Série non fossilifère du Devon septentrional (p. 183, t. II). Lits Ilfraconbe avec quantité de trilobites et de coraux, et Céphalopodes distincts du Devonien Supérieur (p. 183, t. II). ETRANGER. — Calcaire Eifel, avec schistes sous-jacents contenant des *Calceola* (p. 187, t. II). Formation cornifère du Canada occidental et de New-York (p. 191, t. II). Couches Devoniennes de Russie (p. 189, t. II).
	24. DEVONIEN INFÉRIEUR.	ANGLETERRE —Pierres à paver d'Arbroath, avec *Cephalaspis*, *Pterygotus* et *Parke* (p. 165, t. II). Grès inférieurs de Caithness, avec *Pterygotus* (p. 166, t. II). Grès et ardoises du Foreland et de Lynton (p. 187, t. II). Grès de Torquay, avec spirifères à larges ailes (p. 187, t. II). ETRANGER.—Couches Devoniennes de l'Afrique méridionale, avec *Homalonotus*, etc. (p. 196, t. II). Grès d'Oriskany, du Canada occidental et de New-York (p. 195, t. II).
SILURIEN. (*Terrain silurien.*)	25. SILURIEN SUPÉRIEUR.	ANGLETERRE. — Formation supérieure de Ludlow. Grès de Downton, avec lits d'ossements dans la partie supérieure; grès gris, avec *Rhynconella avicula* (p. 203, t. II). Formation inférieure de Ludlow, y compris le calcaire d'Aymestry et le schiste de Ludlow, avec des restes des plus anciens poissons connus (206, II). Calcaire de Wenlock, avec trilobites (p. 211, II). Schiste de Wenlock, avec graptolites (p. 214, t. II). Calcaire de Woolhope et grès grossier (grit) 215, II. ETRANGER. — Calcaire de Niagara, avec *Calymene*, *Homalonotus*, etc. (p. 232, t. II).
	26. SILURIEN MOYEN.	ANGLETERRE. — Llandovery Supérieur, y compris le schiste de Tarannon, le grès et le calcaire de May-Hill, avec *Pentamœrus lœvis*, etc. (p. 216, II). Ardoises du Llandovery inférieur (p. 218, t. II). ETRANGER. — Groupe Clinton d'Amérique, avec *Pentamerus lœvis*, etc. (p. 232, t. II). Couches Siluriennes de Russie, avec *Pentamerus* (p. 230, t. II).
	27. SILURIEN INFÉRIEUR.	ANGLETERRE. — Lits de Caradoc et de Bala, avec *Trinucleus Caractaci*, etc. (p, 219, t. II). Llandeilo flags, avec graptolites et tufs volcaniques intercalés (p. 223, t. II). Llandeilo inférieur ou formation Arenig, avec *Didymograpsus geminus*, et tufs volcaniques intercalés (p. 226, t. II).

		Exemples :
SILURIEN.	27. SILURIEN INFÉRIEUR.	Etranger. — Ungulite ou grit Obolus de Russie (p. 230, t. II). Groupe de la rivière Hudson et calcaire de Trenton (Amérique septentrionale), avec *Trinucleus*, etc. Calcaire Black-River, avec grands *Orthoceras* (p. 232, t. II). Calcaire à Orthoceras de Suède (p. 233, t. II).
CAMBRIEN.	28. CAMBRIEN SUPÉRIEUR. (Zone Primordiale de Barrande.)	Angleterre. — Ardoises de Tremadoc, avec trilobites de genres, en partie siluriens, en partie du *Primordial* de *Barrande* (p. 239, t. II). Lingula flags, av. *Lingula Davisii* (p. 241, II). Etranger. — Zone *Primordiale* de Bohême, avec trilobites des genres *Paradoxides*, etc. (p. 245, t. II). Schistes alumineux de Suède et de Norwége (p. 247, t. II). Grès de Potsdam, avec *Dikelocephalus* et *Obolella* (p. 247, t. II). Groupe de Québec, avec faune variée, ressemblant à celle du Llandeilo inférieur et des groupes de Tremadoc (p. 249, t. II).
	29. CAMBRIEN INFÉRIEUR. (Groupe Longmynd.)	Angleterre.—Grès grossiers (grits) d'Harlech, avec *Arenicolites sparsus*, etc. (p. 242, t. II). Ardoises Llanberis, avec zoophytes (*Oldhamia*) (p. 243, t. II). Etranger, — Série Huronienne du Canada (p. 250, t. II).
LAURENTIEN.	30. LAURENTIEN SUPÉRIEUR.	Angleterre. — Gneiss fondamental des Hébrides ? (p. 253, t. II). Roches Hypersthènes de Skye ? (p. 251, t. II). Etranger.—Série du Labrador au nord du fleuve Saint-Laurent, dans le Canada (p. 251, t. II). Montagnes Adirondack de New-York (p. 251, II).
	31. LAURENTIEN INFÉRIEUR.	Angleterre. — Manque (?). Etranger. — Lits de gneiss et de quartz, avec couches de calcaires intercalées; dans l'une de ces couches, épaisse de 304 mètres, on trouve un foraminifère l'*Eozoon Canadense*, fossile le plus ancien que l'on connaisse (p. 252, t. II).

CHAPITRE X

PÉRIODES RÉCENTE ET POST-PLIOCÈNE.

Périodes Récente et Post-pliocène. — Définitions. — Formations de la période Récente. — Dépôts modernes de littoral contenant des ouvrages d'art près de Naples. — Tourbe du Danemark et amas de coquilles. — Habitations lacustres en Suisse. — Ages de pierre, de bronze et de fer. — Forme des crânes humains de la période Récente. — Formations Post-pliocènes. — Coexistence de l'homme avec des mammifères éteints. — Graviers de vallée de niveau supérieur et inférieur. — Loess ou limon d'inondation du Nil, du Rhin, etc. — Antiquité des terrasses de lac Post-pliocènes en Suisse. — Couches marines exhaussées en Sardaigne. — Origine des cavernes. — Restes de l'homme et de quadrupèdes éteints dans les dépôts de caverne. — Cavernes de Kirkdale. — Période du Renne dans le midi de la France. — Caverne à brèches d'Australie. — Relations géographiques entre les groupes des vertébrés vivants et ceux des espèces éteintes du Post-pliocène. — Oiseaux éteints du genre Struthiones dans la Nouvelle-Zélande. — Variations de climat dans la période Post-glaciaire. — Longévité comparative de l'espèce dans les mammifères et les testacés. — Dents de mammifères dans les couches Récentes et Post-pliocènes.

Les tables générales données à la fin du dernier chapitre ont appris au lecteur, que les couches supérieures ou les plus nouvelles, étant de date plus moderne que les Tertiaires, ont reçu le nom de Post-tertiaires. Nous ferons également observer que les formations Post-tertiaires sont divisées en deux groupes subordonnés, Récent et Post-pliocène. Dans le Récent, les mammifères aussi bien que les coquilles sont d'espèces identiques à celles qui existent de nos jours; tandis que, dans le Post-pliocène, une partie, souvent considérable, des mammifères appartient aux espèces éteintes. Comme on pourrait objecter à cette classification que le terme Post-pliocène semble, à strictement parler, comprendre tous les monuments géologiques postérieurs en date au Pliocène, nous appellerons ces formations Post-tertiaires, en réservant le terme Post-pliocène pour les formations Post-tertiaires plus anciennes, et donnant le nom de *Récentes* aux Supérieures ou plus nouvelles.

Il sera, dans certains cas, impossible de tracer une ligne

de démarcation entre les dépôts du Récent et ceux du Post-pliocène, et ces difficultés, loin de diminuer, ne feront que s'accroître, à mesure que nous avancerons dans la science géologique, et en proportion des lacunes que nous remplirons successivement dans l'histoire du globe.

En 1839, je proposai le mot Pleistocène comme abréviatif de l'expression Pliocène nouveau, et il fut bientôt généralement accepté, grâce à son adoption par Edward Forbes, dans son admirable essai sur *Les relations géologiques de la Faune et de la Flore actuelles dans les Iles Britanniques*. Mais ce savant, au lieu d'employer le mot que j'avais créé, comme abréviatif de Nouveau Pliocène, l'appliqua pour désigner précisément ce que j'appelle Post-pliocène dans cet ouvrage. Pour prévenir toute coufusion, je m'abstiendrai de me servir du terme Pleistocène dans ces éléments, car je pense que l'introduction d'un quatrième nom (à moins d'en restreindre l'application aux formations Post-tertiaires anciennes), rendrait impossible l'usage de l'expression Pliocène dans son acception première étendue, et il est souvent presque indispensable d'avoir un seul mot pour indiquer les deux divisions de la période Pliocène (1).

PÉRIODE RÉCENTE.

Nous avons démontré dans le sixième chapitre, en traitant de la dénudation, que la terre ferme ou cette partie de la surface terrestre qui n'est pas couverte par les eaux des lacs ou des mers, est généralement détériorée par l'action incessante de la pluie et des cours d'eau, et, dans certains endroits, par la puissance envahissante des vagues qui minent les bords de la mer. Mais ces changements ne se

(1) Si les géologues croyaient devoir conserver le terme Pleistocène, je leur recommanderais de ne s'en servir ni dans le sens primitif que je lui avais donné, ni de la manière tant soit peu vague dont il avait été appliqué par Edward Forbes; ils devront l'employer au lieu de l'expression Post-pliocène, telle qu'elle est usitée dans cet ouvrage.

montrent pas également partout; certains terrains nivelés et ayant acquis une pente douce, sont entièrement à l'abri de l'usure, leurs surfaces étant protégées par une végétation persistante ; c'est ainsi qu'ils peuvent rester pendant des siècles dans des conditions stationnaires, tandis que les ravins et les vallées intermédiaires se creusent et s'élargissent par suite du déplacement de la matière.

Les matériaux, fins ou grossiers, annuellement charriés des hauteurs vers les régions inférieures, et déposés en couches successives dans les bassins des mers et des lacs, doivent former un volume énorme. Ce travail d'accumulation des couches se continuant, hors de la portée de notre vue, nous sommes toujours incapables d'en apprécier l'importance.

Cependant, des causes agissant dans la suite des siècles, peuvent nous rendre visibles ces formations modernes, d'origine marine ou lacustre. Des changements de niveau s'opèrent continuellement sur une vaste étendue de la croûte terrestre, certains espaces s'élèvent, d'autres s'abaissent, de quelques centimètres, de quelques décimètres, quelquefois même de quelques mètres dans un siècle, de sorte que les terrains autrefois sub-aqueux sont transformés insensiblement en terres fermes, et que d'autres élevés et secs sont recouverts par les eaux. Par suite de ces mouvements, nous trouvons dans certaines contrées, dans le Cachemire, par exemple, où les montagnes sont souvent ébranlées par des tremblements de terre, des dépôts formés dans les lacs à une époque historique, dans lesquels les cours d'eau ont creusé des canaux larges et profonds. On voit de même des ouvrages d'art et des coquilles d'eau douce au sein des couches lacustres ainsi coupées. Dans d'autres pays situés sur le bord de la mer, ordinairement à de faibles élévations au-dessus de son niveau, on rencontre des plages soulevées, ou des dépôts marins de littoral, tels que ceux des bords du golfe de Baïes, près de Naples, dans lesquels est enseveli le temple de Sérapis bien connu des géologues. Dans ce cas, on peut préciser la date des monuments

enfouis dans la couche marine, mais, dans d'autres circonstances, on ne peut avoir que de l'incertitude sur l'âge exact des ouvrages produits par la main de l'homme. C'est ainsi que l'on peut faire remonter à une époque quelconque de la période récente les ouvrages d'art et les nombreux canots qui ont été exhumés à l'embouchure de la Clyde, à Glascow.

On a découvert sur la côte de Cornouailles, à Pentuan, près de Saint-Austell, ainsi qu'à Carnon dans le même comté, à une profondeur de vingt-cinq mètres, des crânes humains enfouis dans des couches marines, avec des ossements de baleines, et de plusieurs quadrupèdes terrestres, tous d'espèces vivantes.

Tourbe de Danemark et amas de coquilles, ou Kitchen-Middens. — Quelquefois, il n'est pas besoin d'un changement de niveau, pour montrer à nos yeux les événements qui ont eu lieu dans les époques pré-historiques. L'ensemble des travaux des zoologistes, des botanistes et des antiquaires, par exemple, jette une grande lumière sur la nature des êtres primitifs qui ont été enfouis dans les dépôts tourbeux du Danemark. Leur âge géologique est déterminé par ce fait, que non-seulement les coquilles terrestres et d'eau douce contemporaines, mais encore tous les quadrupèdes, trouvés dans la tourbe, sont d'espèces qui concordent avec celles qui existent de nos jours dans les mêmes contrées, ou qui sont reconnues, de mémoire d'homme, avoir vécu dans le Danemark. Dans les couches inférieures de la tourbe (les couches ayant une épaisseur qui varie de six à neuf mètres), on rencontre des armes de pierre avec des troncs de pin d'Écosse, *Pinus silvestris ;* et, dans les parties supérieures des mêmes marais, des ustensiles de bronze sont mêlés avec des troncs et des glands de chêne commun. On peut conclure, de là, que le pin n'a nullement été un produit du Danemark dans les temps historiques, et qu'il a été remplacé par le chêne, vers l'époque où les objets et les instruments de bronze se substituèrent à ceux de pierre.

Il paraîtrait, en outre, qu'à une époque plus rapprochée, le chêne lui-même, devenu rare, aurait été supplanté complétement par le hêtre, arbre qui croit aujourd'hui vigoureusement dans le Danemark; et, qu'à une époque plus récente encore, alors que le hêtre abondait, les outils de fer furent introduits dans le pays et prirent insensiblement la place des ustensiles de bronze.

Sur les côtes de la Baltique, on trouve, dans les îles du Danemark, certains amas appelés dans le pays *Kjökkenmödding* ou *Kitchen-middens* (débris de cuisine), qui se composent principalement d'écailles d'huîtres et d'autres espèces comestibles de mollusques. Ces amas, d'une hauteur de 9 décimètres à 3 mètres, mesurent de 30 à 305 mètres dans leur plus long diamètre ; ils ressemblent beaucoup aux entassements de coquillages formés par les Peaux-Rouges de l'Amérique septentrionale, le long des côtes orientales des États-Unis. Dans les anciens amas, récemment étudiés avec beaucoup de soin et de savoir par les antiquaires et les naturalistes danois, on n'a découvert aucun ustensile en métal : les couteaux, les haches et tous les autres outils sont tous en pierre, corne ou bois. On trouve souvent, avec ces objets, des fragments de poterie grossière, du charbon et des cendres, ainsi que les os de quadrupèdes qui servent de nourriture au bas peuple. Ces ossements appartiennent aux grandes espèces vivant de nos jours en Europe ; il faut dire cependant que le castor, faisant partie de l'une d'entre elles, a depuis longtemps disparu du Danemark, et que le chien est le seul animal dont la race primitive se soit conservée dans ce pays.

Ces amas de détritus, vu l'absence complète d'instruments en métal, ont été rapportés à la période nommée âge de pierre, période qu'a immédiatement suivie, dans le Danemark, l'âge de bronze. Une race plus civilisée, et portant des armes faites de cet alliage, a dû probablement envahir la Scandinavie, et en chasser les Aborigènes (1).

(1) Voyez les ouvrages de Nilsson, Thompson, Warsaaë, Steenstrup et autres.

Habitations lacustres de la Suisse. — En Suisse, la succession des âges de pierre, de bronze et de fer, a été démontrée par une autre classe de monuments, qui a été étudiée avec grand succès dans ces dernières années et spécialement en 1854. Le docteur F. Keller découvrit, à cette époque, à Meilen, dans le fond du lac de Zurich, près du rivage, les ruines d'un ancien village, primitivement construit sur un pilotis considérable, et qui avait été entraîné, à une date inconnue, dans le lit vaseux du lac. Depuis lors, un grand nombre d'autres localités, plus de cent cinquante, ont donné lieu à la découverte de semblables constructions sur pilotis, situées sur les bords des lacs suisses, à des points où la profondeur de l'eau ne dépasse pas 5 mètres (1). Dans ces endroits la vase superficielle est remplie d'objets divers, et on les a retirés souvent par centaines dans une étendue très-limitée. Au milieu de pieux solidement fixés dans la vase, on en rencontre des milliers qui sont pourris à leurs extrémités supérieures.

Hérodote raconte qu'au temps de Darius (environ 520 ans av. J.-C.) il existait des restes d'une construction semblable, dans le milieu du lac Prasias (le lac Takinor actuel probablement), en Péonie, ou dans la Roumélie, province de la Turquie moderne. « Les maisons, dit l'historien, étaient bâties sur une plate-forme de bois supportée par des pieux, et communiquaient avec le rivage, par un petit pont qui pouvait être retiré à volonté (2). » « Lorsque l'homme, ajoute Morlot, vivait dans ces constructions sur pilotis, tous les déchets de son industrie et les restes de sa nourriture étaient naturellement jetés dans le lac, et se sont parfaitement conservés souvent dans le fond de la vase. S'il arrivait que de pareils établissements devinssent la proie des flammes, soit par accident, soit par la malveillance de l'ennemi, une quantité

(1) Voir les ouvrages de MM. Troyon et Keller, ainsi que le résumé de ces recherches par Morlot. *Bulletin de la Société Vaudoise des sciences naturelles*, t. VI ; Lausanne, 1860, — et l'ouvrage, *Sur l'antiquité de l'homme*, par l'auteur, ch. II.

(2) Hérod., V, 16.

considérable d'objets divers, quelques-uns même d'une grande valeur, devaient tomber dans le fond des eaux. Ces positions aquatiques étaient probablement choisies comme lieux de sûreté, car, le pont une fois retiré, elles n'étaient abordables qu'au moyen de bateaux, et la ceinture d'eau pouvait servir également de protection contre les bêtes féroces et les ennemis humains (1). »

Les âges de pierre, de bronze et de fer indiquant purement des étages successifs de civilisation, peuvent avoir existé en même temps dans différentes parties du globe, et même dans des régions contiguës, chez des peuples qui avaient peu de communications entre eux. Quant à la série chronologique des monuments, nous ne pouvons l'établir que sur des probabilités, et non d'une manière distincte, nos observations étant limitées dans un champ aussi étroit que la Suisse. Les dates deviennent encore plus difficiles à préciser, quand on voit un établissement comme celui de Moosseedorf, près de Berne, qui appartient exclusivement à l'âge de pierre, être environné d'un grand nombre d'autres dépôts qui se rapportent tous à l'âge de bronze. Parmi les objets trouvés à Moosseedorf, et dont le nombre dépasse deux mille, on n'en a pas observé un seul en métal. A Wangen, sur le lac de Constance, on a recueilli plus de 1300 articles de pierre, d'os ou de poterie, et pas un seul ustensile, instrument ou ornement de bronze. Dans d'autres lacs, dans ceux de Bienne et de Genève, par exemple, on a également découvert des dépôts qui renferment de nombreux objets de bronze, avec une très-petite quantité d'armes de pierre.

L'antiquité relative des constructions sur pilotis, qui appartiennent respectivement aux âges de pierre et de bronze, est aussi clairement démontrée par l'association des outils avec certains groupes de restes d'animaux. Dans les endroits où l'on trouve des outils de pierre, les os prove-

(1) Vues générales d'archéologie, par Morlot, Mémoires de la Société Smithsonienne, 1861.

nant des animaux qui ont servi à la nourriture de ces anciens peuples, sont ceux du daim, du sanglier, du buffle, animaux qui abondaient alors que l'homme pratiquait l'état de chasseur. Mais les os que l'on rencontre dans une époque postérieure à celle de bronze sont principalement ceux du bœuf, de la chèvre, du porc, indication d'une civilisation en progrès. Quelques villages de l'âge de pierre sont de date plus récente que d'autres, et dénotent certaines connaissances industrielles. On a découvert, dans ces anciens débris, des grains carbonisés de blé et d'orge, et des morceaux de pain, signes d'un commencement de culture des céréales, ainsi que des étoffes de lin filé et des tissus de paille.

Lorsqu'on compare les objets fabriqués de l'âge de bronze qui datent de ces constructions suisses sur pilotis, avec ceux de l'âge antérieur de pierre, on est frappé de leur supériorité très-marquée pour la beauté des formes et pour l'ornementation. Dans le village de Nidau, sur le lac de Bienne, on a recueilli un nombre considérable de haches, de lances, de faucilles, d'hameçons, de bracelets, en tout près de deux mille objets, et avec eux quelques ustensiles de pierre. Ces derniers, retirés du même endroit, peuvent avoir été employés simultanément avec les premiers, ou bien il se peut que le même village, fondé dans l'âge de pierre, ait continué d'exister dans la période de bronze qui a succédé (1). En Suisse, la poterie de l'âge de bronze est de matière plus fine et plus élégante de formes, que celle de l'âge de pierre. On a également découvert à Nidau des objets en fer, ce qui prouve évidemment que ces habitations n'ont été abandonnées que lorsque ce métal avait été déjà en usage.

A La Thène, à l'angle nord du lac de Neufchâtel, on a obtenu une grande quantité d'objets en fer, qui diffèrent complétement par les formes et par l'ornementation de ceux de l'âge de bronze et de ceux en usage chez les Romains. MM. Schwab et Desor y ont aussi découvert des

(1) Leçon de M. J. Lubbock, Royal Institution, 27 février 1863.

monnaies Gauloises et Celtes. Tous ces objets ont des caractères communs avec les restes, contenant des glaives de fer, qui ont été découverts à Tiefenau, près Berne, dans une plaine que l'on suppose avoir été un champ de bataille ; ils paraissent appartenir à une époque antérieure à la grande invasion romaine du nord de l'Europe, sans avoir précédé de beaucoup peut-être cet événement.

Le commerce avec l'étranger doit avoir été en vigueur dans la période de bronze, car l'étain qui entre dans cet alliage de cuivre, dans la proportion de 10 pour 100, était principalement exporté de Cornouailles par les anciens. On présume que c'est de ce pays que les Phéniciens l'ont autrefois retiré pour le fournir aux Grecs et à tous les habitants des côtes orientales de la Méditerranée. De nombreux antiquaires ont pensé que l'étain, que l'on disait venir de l'Ibérie ou de l'Espagne, avait été transporté par des vaisseaux des îles Cassitérides ou des mines de Cornouailles à Cadix (1). Diodore nous apprend, à une époque postérieure, que des lingots d'étain étaient embarqués à Iktis, ou mont Saint-Michel dans le Cornouailles, et transportés sur la Manche à la côte opposée, et que de là ils traversaient la Gaule à dos de cheval jusqu'à Massilia, ou Marseille, d'où ils étaient livrés aux Romains (2).

Homère, dans l'Iliade, nous dépeint les Grecs portant des armes de χάλκος, ou airain, suivant les traductions, ce qui est pleinement confirmé aujourd'hui par l'analyse d'armures et de monnaies anciennes des Grecs, qui démontre que la composition de ces armes consistait, non en un alliage de cuivre et de zinc, mais en un alliage de cuivre et d'étain, le bronze de nos jours. Dans les temps les plus reculés, les anciens employèrent le fer conjointement avec le bronze ; mais, soit que la fabrication de l'acier par la combinaison du fer avec le charbon, suivant certaines proportions chimi-

(1) Sir G. Cornwall Lewis, *Astronomie des anciens*, chap. VIII.

(2) Diodore, V, 21, 22, et Sir H. James, note sur un bloc d'étain retiré du port de Falmouth. Royal Institution of Cornwall, 1863.

ques, fût inconnue ou encore dans l'enfance, le bronze semble avoir eu la préférence sur le fer dans la confection des instruments tranchants. La meilleure définition que l'on ait peut-être proposée de l'âge de fer serait celle-ci : période dans laquelle ce métal a remplacé en majeure partie le bronze, pour tous les instruments qui demandent un tranchant à vive arête. Il est étonnant qu'à Herculanum et à Pompeï, qui furent ensevelis sous les cendres du Vésuve dans l'année 79, près de mille ans après Homère, le bronze soit le métal dominant pour les ustensiles de cuisine, les instruments d'agriculture et même ceux de chirurgie ; il faut ajouter toutefois que les objets en fer sont loin d'être rares dans les ruines de ces anciennes villes. Dans la Transylvanie et la Hongrie, il y aurait eu, suivant Keller, un âge de cuivre intermédiaire entre ceux de pierre et de bronze.

En voulant apprécier à quel degré le fer et le bronze prévalurent dans les temps préhistoriques, nous courons risque d'être induits en erreur par la grande durée de conservation de l'un de ces métaux et par la facilité avec laquelle l'autre métal, le fer, se décompose. Mais si le fer est sujet à être considérablement altéré par l'oxydation, il trahira habituellement son existence aux géologues par la propriété que possède son oxyde d'agir comme un ciment et de faire adhérer ensemble les particules de sable, de gravier, de limon et de coquilles, dans lesquelles il repose. On a souvent rencontré une couche cylindrique de semblables matières autour de pièces d'artillerie et de canons de fusil, et les progrès de l'oxydation semblent avoir été arrêtés par une pareille enveloppe (1).

Restes humains de la période récente. — On a découvert très-peu d'ossements humains de l'âge de bronze dans la tourbe du Danemark ou dans les habitations lacustres de la Suisse, et les archéologues attribuent généralement cette rareté à la coutume de brûler les morts, qui régnait dans

(1) Voir les *Principes de géologie* de Lyell, 9e édit., p. 760.

l'âge de bronze. Dans la période précédente, celle de pierre, les populations du Nord ensevelissaient, dit-on, leurs morts dans des caveaux funéraires, soigneusement construits avec de larges blocs de pierre non taillés. Les Ethnologues Scandinaves ont extrait de ces sépultures plusieurs crânes, qui montrent que la race ancienne avait de petites têtes, remarquablement arrondies dans tous les sens, avec un angle facial assez ouvert et un front bien développé (fig. 104). On a découvert, suivant Retzius, des crânes semblables en France, en Irlande et en Écosse, et ils ont des points de ressemblance si frappants avec ceux des Lapons modernes, que l'on a pu en déduire que ces populations ont été les derniers survi-

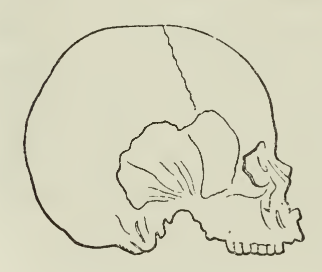


FIG. 104. — Type brachycéphale de l'âge de pierre de la période récente, en Danemark.

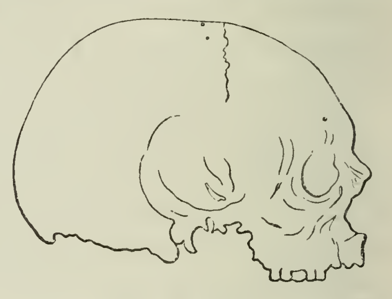


FIG. 105. — Type dolichocéphale du commencement de l'âge de fer, dans le Danemark.

vants de l'âge de pierre dans le nord de l'Europe. Les Lapons ont été généralement considérés comme une branche extrême de la race Mongolienne.

Le type crânien de l'âge de bronze n'est pas encore bien connu, mais, avec l'introduction du fer, la coutume d'enterrer les morts fut remise en vigueur, et l'on voit apparaître une nouvelle forme de crânes, ressemblant à ceux qui sont de nos jours les plus communs en Europe. Comme on le voit dans la figure 105, le crâne est allongé de l'avant à l'arrière, avec le front tant soit peu fuyant, et correspond au type que nous appelons souvent le type Celtique (1).

(1) Morlot, *ibid.*

PÉRIODE POST-PLIOCÈNE.

Nous pouvons déduire des observations ci-dessus que les âges de fer et de bronze ont été précédés, dans l'Europe septentrionale et centrale, de l'âge de pierre. Celui-ci doit être rapporté à la division récemment établie d'époque post-tertiaire, d'après les restes organiques qui accompagnent les ustensiles de pierre. On a récemment découvert des souvenirs d'un âge de pierre encore plus ancien, pendant lequel l'homme était contemporain, en Europe, de l'éléphant, du rhinocéros et de plusieurs autres animaux, dont les plus grands, pour la plupart, ont depuis longtemps disparu. Les dépôts marins et alluviaux de cet âge reculé, le plus ancien qui nous ait laissé quelques traces de l'homme jusqu'à ce jour, appartiennent à une époque où la configuration géographique de l'Europe différait plus essentiellement de la configuration actuelle que de celle plus récente de la période post-tertiaire. Les vallées et les cours d'eau de cette époque coïncidaient presque entièrement avec les vallées et les cours d'eau de nos jours, et c'est dans les mêmes marais tourbeux que la tourbe se produit encore aujourd'hui. De même, la position des amas de coquilles et des habitations lacustres dont nous avons parlé, est de nature à nous confirmer que la topographie des diverses régions dans lesquelles ces dépôts ont été observés, n'a subi subséquemment aucune altération matérielle. Dans quelques cas exceptionnels, il est vrai, des changements marqués ont eu lieu par suite du soulèvement ou de l'abaissement de la croûte terrestre, dans le voisinage de la mer ; des plages ont été soulevées à de faibles hauteurs qui dépassent rarement 12 mètres, au-dessus du niveau des eaux hautes, et des forêts visibles, aux eaux basses, formant bordure sur les côtes, ont été submergées. Nous devons bien admettre que des mouvements semblables ou même plus considérables ont dû s'opérer à la même époque dans l'intérieur des terres, quoique nous

ne puissions les étudier et apprécier leur importance, faute d'un terme de comparaison tel que celui qui nous est donné par la contiguïté de l'Océan. Ces mouvements d'élévation ou d'abaissement ont quelquefois modifié de très-vastes surfaces, d'une façon si uniforme, que l'aspect général du pays n'en est pas notablement changé, et qu'on ne peut reconnaître cette perturbation à première vue. Mais, en examinant les formations post-pliocènes contenant les restes si nombreux de tant de mammifères éteints, on est frappé tout d'abord de la différence qui

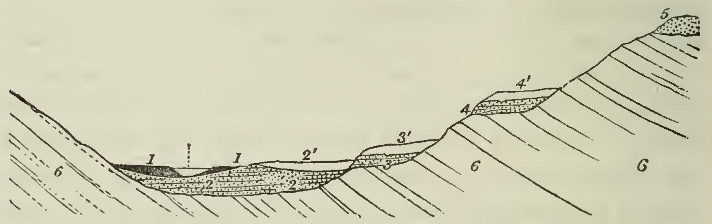


Fig. 106. — Dépôts d'alluvion récents et post-pliocènes.

1. Tourbe de la période récente. — 2. Gravier de cours d'eau moderne. — 2'. Limon ou terre à brique (Loess) de la même époque que le n° 2, formé par des inondations de rivières. — 3. Gravier de vallée de niveau inférieur, avec des mammifères éteints (post-pliocène.) — 3'. Limon de la même époque. — 4. Gravier de vallée de niveau plus élevé (post-pliocène). — 4'. Gravier de la même époque. — 5. Gravier de plateau de diverses espèces et de différentes époques, consistant en certains endroits en Boulder-Clay ou drift glaciaire. — 6. Vieilles roches.

existe entre la surface ancienne et la surface actuelle. Depuis l'origine de ces dépôts, la profondeur et la largeur de certaines vallées ont subi des changements d'une importance considérable ; et il en est de même pour la direction des eaux, s'écoulant à la surface ou dans des voies souterraines, comme le démontre clairement la position relative de la terre et de l'eau, près des côtes de la mer. La figure 106 représente une coupe imaginaire, montrant les diverses positions qu'occupent les dépôts d'alluvium récents et post-pliocènes, dans la plupart des vallées de l'Europe.

J'ai trouvé la tourbe n° 1 dans la partie basse de l'alluvion moderne de plaine, dans laquelle on remarque le gravier n° 2 de la période récente. Le limon ou sédiment fin

n° 2 a été déposé sur ce gravier, par la rivière, durant les inondations qui ont presque entièrement submergé la plaine alluviale.

Le n° 3 représente une alluvion plus ancienne, composée de sable et de gravier, et qui a été formée avant que la vallée eût été creusée jusqu'à sa profondeur actuelle. Il contient les restes de coquilles fluviatiles d'espèces vivantes associées avec les os de mammifères, en partie d'espèces récentes, en partie d'espèces éteintes. Parmi ces derniers animaux, les plus communs en Europe étaient le Mammouth (*E. Primigenius*) et le rhinocéros de Sibérie (*R. Tichorhinus*). Le n° 3 est un restant de limon ou de terre à brique qui couvrait le n° 3'. Le n° 4 représente une terrasse encore plus ancienne et plus élevée, de même composition que le n° 3, avec de semblables restes organiques, et couverte comme le n° 4 d'un limon déposé par les inondations. Il n'existe souvent qu'une seule couche de ces graviers d'ancienne date, on en rencontre quelquefois plus de deux, qui indiquent comme plusieurs phases successives dans l'excavation de la vallée. Ordinairement, ces couches sont disposées à des hauteurs qui varient de 3 à 30 mètres, quelquefois à droite, quelquefois à gauche dans les terrains actuels bordant la rivière (*river-plain*), mais il est rare qu'on les rencontre largement développés sur les côtés exactement opposés de la vallée.

Parmi les espèces de quadrupèdes éteints que l'on trouve le plus généralement en Angleterre, en France, en Allemagne et dans d'autres parties de l'Europe, on doit citer les suivantes : *Elephas*, *Rhinoceros*, *Hippopotamus*, *Equus*, *Megaceros*, *Ursus*, *Felis* et *Hyæna*. Dans la tourbe n° 1 (fig. 106), et dans les couches plus modernes de gravier et de sédiment (n° 2), on rencontre des ouvrages d'art, déjà décrits, des âges de fer, de bronze, et de celui que nous avons appelé *âge de pierre postérieur*. Dans les graviers plus anciens 3 et 4 (fig. 106), les fouilles de ces dernières années ont fait découvrir, dans plusieurs vallées de France et d'Angleterre, celles de la Seine, de la Somme, de la Tamise et de l'Ouse

près de Bedford, des ustensiles de pierre d'un type grossier ; qui montrent la coexistence de l'homme, dans ces contrées, avec l'éléphant et autres quadrupèdes éteints des genres ci-dessus mentionnés.

Plusieurs géologues de la fin du dernier siècle et du commencement de celui-ci, ont pensé que certains restes humains enfouis dans le limon et dans la brèche des cavernes étaient aussi anciens que les mammifères éteints avec lesquels ils étaient associés. Les preuves données d'une si haute antiquité n'ont pas été généralement accueillies comme évidentes ; l'observation démontre, en effet, qu'un grand nombre de ces cavernes ont été successivement habitées par des êtres différents, que l'homme les a choisies tantôt comme lieux de séjour, tantôt comme lieux de sépulture, et que certaines ont servi de canaux aux écoulements souterrains de rivières. Pour ces motifs, les restes des espèces vivantes qui ont peuplé ces régions à des époques différentes, peuvent avoir été mêlés ensemble à une époque postérieure et confondus dans le même dépôt. En 1847, M. Boucher de Perthes découvrit dans une ancienne alluvion à Abbeville, en Picardie, les ossements de mammifères éteints avec des outils en silex d'un type grossier ; leur association était de nature à faire admettre que les restes organiques et les ouvrages d'art devaient être rapportés à une seule et même période. Cette opinion, un instant controversée, fut bientôt confirmée par les nouvelles observations du docteur Rigolot, à Amiens, et en 1859, M. Prestwich dissipa finalement tous les doutes, par sa découverte d'un silex taillé *in situ* dans cette même couche d'Amiens qui contenait les restes de mammifères éteints. L'exploration de la caverne de Brixham, en 1860, dont nous parlerons plus tard, procura des renseignements plus exacts et servit à mieux disposer les géologues en faveur des preuves que l'on donnait alors de la coexistence de l'homme avec l'ancienne Faune.

Les silex trouvés à Abbeville et à Amiens sont en général des haches et des têtes de lances, ils diffèrent de ceux qui

sont communément désignés sous le nom de *Celts*. Ces Celts, si fréquents dans les formations récentes, ont une forme oblongue plus régulière, résultant de l'usure qu'on leur a fait subir pour leur donner un tranchant vif. Les silex trouvés à Abbeville, dans le gravier, à différents niveaux, comme les n°s 3 et 4, fig. 106, concurremment avec des os d'éléphant, de rhinocéros et d'autres mammifères éteints, sont toujours grossiers, et ont évidemment reçu la forme qu'ils présentent, par l'ablation à coups répétés de fragments de silex, comme on pourrait le faire avec un marteau de pierre.

Quelques-uns affectent la forme ovalaire, d'autres celle d'une tête de lance, et quoiqu'il n'y en ait pas deux qui se ressemblent exactement, on reconnaît sensiblement que le plus grand nombre de chaque sorte a été fabriqué d'après le même modèle. Leur surface extérieure est souvent blanche, la teinte noirâtre et primitive du silex ayant été décolorée et blanchie par l'exposition à l'air, ou par l'action des acides, pendant leur gisement dans le gravier. Ils sont le plus ordinairement souillés d'une couche ocreuse analogue à celle qui recouvre le gravier siliceux dans lequel ils sont enfouis. Parfois, leur ancienneté est démontrée non-seulement par leur couleur, mais par des incrustations superficielles de carbonate de chaux, ou par des arborisations formées de manganèse et d'oxyde de fer. Chez quelques-uns, le tranchant est usé, soit que ces silex aient servi comme outils, soient qu'ils aient été roulés dans le lit de la rivière. On les trouve habituellement à une profondeur de 4 à 7 mètres de la surface, dans un gravier recouvert par du limon, et le plus souvent au fond de la couche graveleuse, près de sa ligne de contact avec la craie sous-jacente. On les rencontre non-seulement dans les graviers de niveau inférieur, comme dans le n° 3, fig. 106, mais encore, comme dans le n° 4, dans des graviers plus élevés, à Saint-Acheul, par exemple, aux environs d'Abbeville, où l'ancienne alluvion forme une couche élevée de 30 mètres environ, au-dessus du niveau de la Somme. A ces deux niveaux, dans le limon comme dans le gravier, on trouve des

coquilles fluviatiles et terrestres, sans aucunes traces de coquilles marines, excepté aux environs d'Abbeville, dans la partie la plus inférieure du gravier, près de la mer, et à quelques décimètres seulement au-dessus du niveau actuel des eaux hautes. En cet endroit, des coquilles fossiles d'espèces vivantes sont mêlées avec les ossements de l'*Elephas primigenius*, et *E. antiquus*, du *Rhinoceros tichorhinus*, de l'*Hippopotamus*, du *Felis spelœa*, de l'*Hyæna spelea*, du renne et de plusieurs autres animaux. Ces débris osseux sont associés aux objets en silex d'une telle façon, que l'enfouissement des uns et des autres doit avoir eu lieu nécessairement à la même époque, dans l'ancienne alluvion.

Dans le terrain de transport de Menchecourt, à Abbeville, on a découvert le squelette entier d'un rhinocéros ; la juxtaposition particulière des os, et l'arrangement qu'ils avaient conservé, démontrait que les cartilages devaient les avoir reliés à l'époque de leur inhumation.

On doit attribuer, dans un certain degré, à l'étendue limitée de nos recherches actuelles, l'absence générale d'ossements humains remarquée dans les diverses couches de gravier et de sable qui ont fourni des objets en silex. Mais on peut supposer aussi que la population de chasseurs, toujours peu nombreuse, disséminée dans cette région, était trop prudente pour se laisser surprendre par les inondations qui auraient entraîné les animaux herbivores, pâturant ou se livrant au sommeil dans les bas-fonds de rivière. Des bêtes féroces rôdant sur les mêmes couches d'alluvion, en quête d'une proie, peuvent également avoir été surprises plus facilement que les êtres humains qui occupaient le même pays, et qui devaient mieux connaître les signes précurseurs de l'orage.

Dans les cas très-rares qui nous ont fourni, en Europe, des preuves fondées de la présence de restes humains dans les dépôts post-pliocènes, en dehors des fouilles de cavernes, les reliques fossiles ont été trouvées près de la ligne de jonction du limon superficiel et du gravier sous-jacent (3′, 4′,

fig. 106). M. Ami Boué, observateur expérimenté, déterra de ses propres mains, en 1853, dans la vallée du Rhin, des fragments d'un squelette humain, gisant dans la partie inférieure d'un dépôt de limon ou loess, d'une épaisseur de 24 mètres. Cette découverte fut faite à Lahr, petite ville du Grand Duché de Bade, en face de Strasbourg, sur le côté gauche de la vallée du Rhin. Ces restes, montrés alors à un grand naturaliste, furent reconnus appartenir à la charpente humaine (1). L'un de ces os, un fémur, attira d'abord l'attention ; il faisait saillie dans une face perpendiculaire du loess, qui forme la partie inférieure d'une succession de terrasses, creusées dans le limon par l'action dénudante de la Schutter, petit cours d'eau tributaire qui rejoint à Lahr la grande pleine alluviale du Rhin. Le limon, dans lequel les os étaient enfouis, possède des caractères minéralogiques semblables à ceux de la grande plaine voisine. La continuité parfaite de ce dépôt porte à croire que le Rhin déborda autrefois dans la vallée occupée par les cours d'eau ses tributaires, et la remplit, à une hauteur considérable, de son sédiment vaseux, dans lequel, à cette époque, fut enfoui le squelette.

Vase d'inondation des rivières. — Terre à brique. — Limon fluviatile ou Loess. — En thèse générale, les alluvions fluviatiles de différents âges (n°s 2, 3, 4, fig. 106) sont formées, pour la plupart, de matériaux grossiers dans leurs parties inférieures, et de sédiment fin ou limon dans les supérieures. Les rivières, en effet, changent constamment de position dans le fond de la vallée ; elles empiètent graduellement sur la rive, voisine d'une eau profonde, et abandonnent le côté opposé, où le lit va sans cesse se desséchant, pour être converti, à un moment donné, en terre ferme ; aux endroits où il est le plus rapide, le courant entraîne du bord des graviers grossiers ; dans ceux où sa vitesse est moindre, il précipite du sable d'abord, et puis seulement une vase très-fine. Pendant les inondations, une

(1) Lyell, *Antiquité de l'homme*. Appendice, 2e et 3e édit.

couche mince de ce sédiment fin, couvre une vaste surface, sur un côté ou quelquefois sur les deux côtés du cours d'eau principal, en s'accumulant jusqu'à la base des escarpements ou terrains plus élevés qui bornent la vallée. C'est de cette manière que se forment les dépôts annuels bien connus du Nil, auxquels l'Égypte est redevable de sa fertilité. Ces couches déposées sont si minces, que leur accumulation pendant un siècle dépasse rarement une épaisseur de 12 centimètres, quoique celle qu'elles ont acquise dans l'espace de milliers d'années soit si considérable, que des sondages pratiqués à une profondeur de 18 mètres n'aient pu faire toucher le fond dans les parties centrales de la vallée. Ces dépôts consistent en une vase homogène, partout la même, et sans stratifications ; on ne peut observer leur succession, que dans les endroits où le Nil a son lit obstrué, ou bien dans ceux où les sables apportés par les vents du désert de Libye ont envahi la plaine, et donné naissance à des assises alternatives de sable et de limon.

On doit attribuer l'absence générale de strates dans le limon de la plaine Égyptienne au peu d'épaisseur de la couche déposée dans une seule année, ainsi qu'à son exposition pendant huit mois, à l'action desséchante des vents et des rayons d'un soleil brûlant. Il arrive souvent que des parties de ce limon sont transportées d'une région à l'autre sous forme de poussière, et la surface du sol se montre alors presque partout, percée par les vers, les insectes et les racines des plantes. Plusieurs géologues ont cru pouvoir expliquer l'absence de stratification dans ces dépôts par l'action soudaine et tumultueuse de l'inondation, qui précipite, avec rapidité et sans interruption, des masses limoneuses d'une certaine densité ; nous pensons, quant à nous, que l'absence de ces plans de divisions, ou traces de dépôt successif, provient, non du manque d'action intermittente, mais de ce que la quantité de limon annuellement déposée est très-faible et ne s'est pas établie sur un sol toujours submergé. On peut trouver dans des dépôts de ce genre des exemples de chaque

degré depuis la stratification jusqu'à la non-stratification.

En Europe, on observe parfois, dans les limons de rivière, des galets isolés et des fragments angulaires de pierre qui ont été transportés par les glaces aux endroits où on les rencontre. Il n'en est pas ainsi dans les plaines d'Égypte, ces matériaux grossiers n'y existent pas. M. Adam et d'autres explorateurs ont observé, au-dessus et au-dessous de la première cataracte du Nil, à des hauteurs différentes de la plaine actuelle d'alluvion, des terrasses anciennes de rivière, qui étaient composées de dépôts fluviatiles. Dans ces vieilles formations, — (les unes ont 9 mètres, d'autres 30 et plusieurs une hauteur plus considérable au-dessus de la rivière), on a trouvé des coquilles fossiles d'espèces identiques à celles qui existent aujourd'hui dans le Nil. Nous dirons quelques mots sur les causes probables de ces changements dans le niveau du fleuve, et sur les comblements successifs et les excavations renouvelées du même bassin hydrographique à différentes époques. Ces changements sont de telle nature qu'ils ne peuvent manquer de résulter des mouvements d'élévation et d'abaissement du continent, tels qu'ils se sont produits assurément en Égypte dans la période post-tertiaire, comme cela nous est démontré par l'observation de la côte orientale de la mer Rouge d'un côté, et du grand désert de Sahara de l'autre, qui sont passés de l'état de mer à celui de terre ferme, depuis le commencement de la période Post-pliocène.

Dans certaines parties de la vallée du Rhin, l'accumulation d'un semblable limon, appelée *Loess* en Allemagne, s'est produite sur une grande échelle. C'est un sable très-homogène et d'une couleur gris-jaunâtre, qui, suivant les analyses du professeur Bischoff, a une composition analogue à celle du limon du Nil. Quoique la masse ne présente, la plupart du temps, aucun signe de stratification, on trouve cependant des traces de cette disposition dans les parties du dépôt qui contiennent des concrétions calcaires, ou bien vers la base qui repose sur un lit de sable et de gravier disposé par

couches alternantes près de la ligne de jonction. La masse entière est composée, pour un sixième environ, de carbonate de chaux, ordinairement mélangé de sable micacé et de quartz fin.

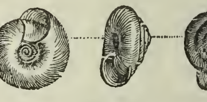
Ce limon du Rhin peu consistant se termine habituellement, dans les endroits où il a été miné par les eaux courantes, par un escarpement vertical, de la superficie duquel on voit se projeter en relief des coquilles terrestres et d'eau douce, ainsi que des mollusques amphibies. La présence de ses débris n'implique pas le séjour permanent dans ces lieux, d'une certaine quantité d'eau douce, car la plus aquatique de ces coquilles, la *Succinca*, vit dans les marais et dans les prairies humides. La *Succinea elongata* (ou *S. oblonga*), fig. 107, est très-caractéristique du loess du Rhin et de quelques autres limons de rivière d'Europe.

Parmi d'autres coquilles terrestres qui abondent dans le loess du Rhin, on cite l'*Helix plebeia* et le *Pupa muscorum*.

Les coquilles terrestres et aquatiques incorporées dans ce dépôt, bien que d'une structure des plus fragiles et des plus


FIG. 107.
Succinea elongata.


FIG. 108.
Pupa muscorum.


FIG. 109.
Helix plebeia.

délicates, sont presque invariablement dans un état parfait de conversation; or, elles eussent été mises en pièces si elles avaient été entraînées par une inondation violente. La couleur même de quelques-unes des coquilles terrestres, telles que l'*Helix nemoralis*, subsiste parfois.

J'ai observé les trois fossiles représentés ci-dessus, en Thuringe, près de Rudolstadt, dans le limon fluviatile du cours supérieur de la Saale, rivière qui se jette dans l'Ilm et qui appartient au bassin de l'Elbe. J'ai vu un limon analogue à celui du Rhin, à Porta Westphalica, près de Minden, à une hauteur de 152 mètres au-dessus de la plaine où coule

le Weser; on y rencontre les trois mêmes espèces de coquilles.

Si l'on trouve, près de la base du loess, des mollusques d'espèces purement aquatiques, des genres tels que Limnea, Planorbis et Paludina, on peut conclure, avec toutes probabilités, qu'il a existé anciennement dans ces endroits, des réservoirs et des lacs, indiquant les divers lits abandonnés par le cours d'eau primitif, et qui ont été comblés dans la suite.

Dans la vallée du Rhin, entre Bingen et Bâle, le limon fluviatile ou loess a plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, et contient çà et là dans sa masse des coquilles terrestres et amphibies. D'après l'aspect de ces dépôts, qui forment comme des franges sur les deux côtés de la grande plaine, et dont on rencontre, dans le centre de la vallée, des lambeaux formant des monticules de plusieurs mètres de hauteur, on est en droit de supposer : 1° qu'il y a eu d'abord une accumulation lente de limon; 2° que, plus tard, des parties considérables de ce limon ont été entraînées, et que la vallée primitive, qu'il avait partiellement comblée, a été creusée de nouveau.

Pour expliquer de pareils changements, on peut supposer un grand mouvement d'oscillation, qui aurait relevé la surface du sol, après lui avoir fait subir une dépression générale. L'abaissement qui s'est produit d'abord dans l'intérieur du continent, doit avoir été plus considérable que celui des pays voisins de la mer, et dans ce cas, la plaine alluviale de la partie supérieure de la grande vallée se serait élevée insensiblement par l'accumulation du sédiment, accumulation qui n'aurait cessé qu'avec l'affaissement complet du sol qui servait à l'alimentation. Si nous renversons la direction du mouvement, comme, pendant la durée du relèvement du sol, l'exhaussement des régions intérieures doit avoir eu lieu plus rapidement près des montagnes que des côtes, la rivière a acquis une force de dénudation suffisante pour entraîner presque entièrement le limon et le gravier qui avaient servi à combler le bassin. Des terrasses et des

monticules de limon et de sable seraient alors restés isolément pour attester les différents niveaux auxquels se serait élevé ce limon, d'abord accumulé et plus tard entraîné par les eaux de la rivière.

Terrasses de lac de la période Post-pliocène, en Suisse. — On trouve en Suisse des terrasses de drift ou terrain de transport, à différents niveaux au-dessus des rivières et des lacs actuels. Elles correspondent aux anciens graviers (nos 3 et 4, fig. 106), et contiennent avec des coquilles, toutes d'espèces encore vivantes, les restes du mammouth, du renne, et d'autres mammifères, pour la plupart éteints ou disparus depuis longtemps d'Europe. Sur les bords du lac de Genève, on observe des deltas nombreux formés par des torrents, qui, entraînant dans le fond du lac du limon, du sable et des cailloux roulés, ont annuellement accumulé des dépôts sur le littoral. « Si nous remontons, » dit M. Morlot, « le cours d'un de ces torrents jusqu'à la hauteur de 45 mètres au-dessus du lac, nous rencontrerons un autre delta plus ancien, dix fois aussi grand, qui est évidemment une formation d'une période plus reculée, pendant laquelle les eaux ont séjourné durant des siècles à ce niveau supérieur, alors que la configuration physique du pays différait considérablement de celle qui existe aujourd'hui. »

On voit un de ces deltas de matières transportées, ou cônes aplatis, suivant l'expression de M. Morlot, à l'embouchure de la Tinière, torrent qui se précipite dans le lac, à la partie sud, près de Villeneuve. Une coupée faite pour l'établissement du chemin de fer a laissé à découvert sa structure interne, et l'on y remarque trois couches de terre végétale, dont chacune a formé à son tour la surface du delta. Quant à la partie du cône qui est au-dessus du niveau du lac, elle est le plus souvent couverte d'une belle végétation, comme on l'observe généralement sur les surfaces supérieures et non submergées de tous les deltas de rivière. Dans la portion la plus élevée de ces anciennes masses enfouies, on a trouvé des briques romaines et une monnaie, à une pro-

fondeur de 15 décimètres de la surface actuelle du sol ; à celle de 3 mètres 15 centimètres, des poteries et des ustensiles de l'âge de bronze, et enfin dans la troisième couche qui avait 15 centimètres d'épaisseur et 6 mètres de profondeur, des poteries, des morceaux de charbon, des os et un squelette humain qui avait un crâne, petit, arrondi et très-épais, du type brachycéphale (fig. 104). M. Morlot estime que les restes Romains doivent avoir une antiquité d'environ dix-sept siècles, que ceux de l'âge de bronze datent de 3 à 4000 ans, et que ceux de l'âge de pierre remontent à 5 ou 7000. Il assigne au delta entier une ancienneté de 10,000 ans environ, en supposant que le cône ou delta le plus élevé, qui est dix fois plus large, ait exigé près de 100,000 ans pour sa formation. Comme nous l'avons dit plus haut, ce dépôt contient des restes de mammouth, et il est probablement *contemporain*, dans le sens géologique du mot, des graviers d'Amiens et d'Abbeville, dont on a extrait des quantités si considérables d'ustensiles d'une haute antiquité. Au reste, on ne doit considérer les dates données ci-dessus que comme des appréciations très-approximatives de la vérité. Les terrasses supérieures comparées aux temps historiques, doivent certainement appartenir, vu leur ancienneté, à l'époque post-glaciaire, ou être plus modernes que l'époque glaciaire, dont il sera parlé dans le chapitre suivant. En d'autres termes, les glaciers des Alpes auraient déjà été resserrés dans leurs limites étroites actuelles, avant même la formation des deltas supérieurs, qui contiennent les ossements du mammouth.

Couches marines exhaussées avec poteries, en Sardaigne. — Les couches marines les plus élevées de la période Post-pliocène en Europe, dans laquelle on a remarqué des objets de fabrication humaine, sont celles qui se trouvent sur la côte méridionale de la Sardaigne, près de Cagliari, et qui ont été si bien décrites par le Comte Albert de la Marmora. Elles consistent en brèche, contenant des fragments de calcaire et de nombreuses coquilles des espèces

vivantes de la Méditerranée, telles que l'huître comestible et la moule avec les deux vales unies. Des morceaux de poterie d'un type très-grossier sont mêlés à ces coquilles. On peut suivre la trace de ces couches jusqu'à une hauteur de 90 mètres au-dessus du niveau de la mer, et on a trouvé, dans la terre végétale qui recouvre ces couches marines, des fragments de poterie Romaine, et par conséquent, de date plus moderne. Dans les roches de la même contrée, on remarque de nombreuses fissures remplies de brèche, renfermant les débris de quadrupèdes terrestres, pour la plupart d'espèces éteintes. Ces brèches, quoique très-anciennes, comme le démontre la présence d'os de mammifères, sont cependant plus modernes que les couches marines post-pliocènes avec poteries dont nous avons déjà fait mention ; certaines coquilles, en effet, le *Mytilus edulis* par exemple, ont été enlevées des formations plus anciennes par les eaux, et ont été mêlées dans les fissures avec les ossements des quadrupèdes éteints (1).

Il existe en Europe des exemples de couches marines caractérisées de la même manière par des coquilles d'espèces vivantes ; leur hauteur surpasse même celle des couches de Cagliari, mais on n'y a découvert jusqu'à ce jour ni ossements humains ni ouvrages d'art.

DÉPOTS DE CAVERNES CONTENANT DES RESTES HUMAINS ET DES OSSEMENTS D'ANIMAUX ÉTEINTS.

En Angleterre, et dans presque tous les pays abondants en roches calcaires, on trouve des cavernes qui consistent ordinairement en cavités de grandes dimensions, réunies par des galeries ou tunnels, bas, étroits, et quelquefois tortueux. Ces voûtes souterraines sont le plus souvent comblées en partie par du limon, des galets et des brèches, renfermant des ossements qui appartiennent au même ensemble d'animaux que celui que nous avons déjà décrit comme caractérisant l'alluvion post-pliocène. Quelques-uns de ces ossements

(1) Lyell, *Antiquité de l'homme*, p. 177.

proviennent d'espèces éteintes, d'autres d'espèces vivantes, et ils sont associés parfois, comme dans les graviers de vallée, à des ustensiles de l'une des grandes divisions de l'âge de pierre, quelquefois à des ossements humains; ces derniers sont beaucoup plus communs dans les dépôts de cavernes que dans les alluvions de vallée.

En définitive, chaque suite de cavernes et les passages par lesquels on communique de l'une à l'autre, fournissent au géologue des souvenirs des trois phases successives qu'a dû subir la configuration physique de la contrée dans laquelle on les rencontre. Dans la première période, des roches calcaires ont été dissoutes sur une grande échelle et le carbonate de chaux a été peu à peu entraîné de l'intérieur de la terre par les sources; dans la seconde, des rivières engouffrées ou parfois des inondations, ont emporté des débris organiques et inorganiques dans les cavités souterraines formées antérieurement; dans la troisième période enfin, les changements opérés dans les traits géographiques du pays, ont été de telle nature, que les rivières engouffrées ont été détournées dans de nouveaux lits, et que les sources ont été complétement taries. Par suite de ces phénomènes, le limon des cavernes, les brèches, le gravier et les ossements fossiles se trouveraient, avec l'écoulement actuel des eaux de la région, dans le même rapport que les plaines alluviales et les rivières existantes, avec les drifts plus anciens de vallée, contenant leurs mammifères éteints et leurs ouvrages d'art.

Dans la première des périodes que nous venons de supposer, les opérations ont été entièrement souterraines. On sait que, dans les régions à calcaire, l'eau de pluie *douce* (soft) ou pure de toutes matières terreuses quand elle tombe sur le sol, devient, en pénétrant dans la couche de roches au-dessous, crue (*hard*), ou chargée de carbonate de chaux. Plus tard, elle rejaillit de la terre sous forme de sources; celles-ci, nonobstant de longues sécheresses, et en tenant compte de leur accroissement de volume après les saisons pluviales,

donnent une quantité de liquide qui accuse l'emprunt qu'elles ont dû faire aux sources atmosphériques. Cette eau de pluie tire en partie son acide carbonique de l'air, mais elle le tire surtout des matières végétales en état de décomposition dans le sol qu'elle traverse. Cet acide, étant en excès, dissout le calcaire, et l'eau se charge de carbonate de chaux. La masse de matières solides enlevée des roches, chaque siècle, par cette action silencieuse et incessante, est considérable et doit arriver, après des milliers d'années, à de si grandes proportions, que l'espace qu'elle remplissait autrefois peut bien se traduire par une longue suite de cavernes. Les dimensions et la forme variables de ces cavernes seront déterminées par d'innombrables accidents locaux, tels que la direction de déchirures et de failles préexistantes, la pureté inégale et la solubilité consécutive du calcaire dans les différentes couches, ou dans les différentes parties d'une même couche.

Après une suite d'oscillations et de mouvements d'élévation et d'abaissement, qui ont donné lieu au creusement graduel et à l'élargissement d'anciennes vallées, ou à la formation de nouvelles, avec déchirement des roches en plusieurs endroits, la surface du sol doit être, avec le temps, si complétement changée que des cours d'eau, balayant des pierres angulaires et arrondies, peuvent s'être frayé un passage dans l'intérieur de cavernes qui n'avaient d'abord aucune communication avec la surface. Ces torrents peuvent introduire du limon fin, des cailloux roulés ou angulaires, et des coquilles terrestres, avec des portions de squelettes de quadrupèdes divers, ou de l'homme, le tout mêlé à des fragments d'ouvrages d'art, et remplir, avec ces matériaux hétérogènes, une grande partie des déchirures, des galeries, et des chambres de ces cavernes. Les infiltrations stalactitiques peuvent aussi réunir cette masse de débris en conglomérats et en brèches solides.

Nous lisons dans les descriptions de violents tremblements de terre qu'il n'est pas rare d'observer l'apparition subite de fissures d'une largeur de plusieurs décimètres, souvent

d'une grande profondeur, et qui, pour la plupart, restent béantes. Des animaux sauvages poursuivis par des bêtes féroces tombent dans ces espèces de puits naturels, qui engloutissent les uns et les autres. Pendant la décomposition lente du cadavre, quelques-uns de ces ossements peuvent être entraînés dans les grottes souterraines, et d'autres rester réunis par les ligaments; des squelettes entiers peuvent même être portés par les eaux dans les cavernes et s'y conserver.

L'exploitation de grandes masses de calcaire Carbonifère et Dévonien, près de Liége, en Belgique, a procuré aux géologues de magnifiques coupes de ces espèces de cavernes. La communication primitivement établie entre ces cavités de l'intérieur des roches et la surface ancienne du pays, au moyen de fentes obliques et verticales, a été reconnue, dans des endroits où il eût été difficile de soupçonner son existence. En effet, les extrémités supérieures des fissures étaient complétement cachées par le drift superficiel, et les inférieures qui pénétraient les plafonds des cavernes étaient entièrement masquées par des incrustations stalactitiques.

Liebig, l'éminent chimiste, explique la formation des stalactites de la manière suivante. Dans la Franconie, un sol fertile, dans lequel se décomposent continuellement des matières végétales, recouvre des masses de calcaire, qui abondent en cavernes. Cette terre particulière ou humus, travaillée par la décomposition et par l'air, dégage de l'acide carbonique, qui est dissous par la pluie. L'eau de pluie, ainsi chargée d'acide, pénètre le calcaire poreux, en dissout une partie, et plus tard, quand l'acide carbonique en excès se fait jour dans les cavernes, elle s'infiltre aussi toute saturée de matières calcaires et forme des stalactites. Dans les cavernes sujettes à être submergées, il y a parfois accumulation de ces concrétions calcaires, mais c'est, en général, dans celles qui ne sont plus sur la ligne de l'écoulement des eaux, que se forme à la base un plancher solide de stalagmites. En résumé, les circonstances dans lesquelles un corps

organique est ordinairement introduit dans une caverne sont beaucoup plus favorables à sa conservation, que celles qui accompagnent son enveloppement dans l'alluvion des vallées; car, lorsque les particules du limon ou les pierres sont unies et cimentées par le carbonate de chaux, la filtration de l'eau étant empêchée, on n'a plus à craindre la décomposition et le déplacement des ossements et des coquilles.

Le regrettable Docteur Schmerling examina quatre cavernes près de Liége et trouva dans toutes, avec des ustensiles en silex, les restes de la même faune, comprenant le mammouth, le rhinocéros tichorhine, l'ours, l'hyène, le lion des cavernes et plusieurs autres animaux, quelques-uns d'espèces éteintes, d'autres d'espèces vivantes. Dans quatre ou cinq cavernes seulement, on découvrit des parties de squelettes humains, tantôt des crânes avec quelques autres os, tantôt les diverses pièces du squelette complet, à l'exception du crâne. Dans l'une d'entre elles, celles d'Engihoul, les restes, provenant au moins de trois individus humains que trouva Schmerling, étaient associés aux ossements de mammifères éteints, de façon à ne laisser aucun doute dans son esprit sur la coexistence de l'homme avec ces animaux.

En 1860, le Professeur Malaise, de Liége, explora avec moi cette même caverne d'Engihoul, et nous trouvâmes, sous un plancher résistant de stalagmites, un limon rempli d'ossements d'animaux d'espèces éteintes et vivantes, semblables à ceux qui avaient été décrits par Schmerling. Je retournai en Angleterre, et mon compagnon persévérant dans ses recherches, retira du même dépôt deux mâchoires inférieures d'homme, munies de leurs dents. Les crânes extraits de ces cavernes Belges ne diffèrent pas d'une manière sensible du type normal qui existe de nos jours en Europe. Un de ces spécimens, par exemple, et qui fait maintenant partie de la collection du muséum de l'université de Liége, obtenu par Schmerling de la caverne d'Engis, située sur la rive gauche de la Meuse, se rapporte au type de tête allongée (fig. 105, p. 182), et non à celui de forme arrondie et ra-

massée qui paraît, au moins en Scandinavie, avoir été le plus ancien des deux.

Les soigneuses investigations du Docteur Falconer, de M. Pengelly et autres, dans la caverne de Brixham près de Torquay, en 1858, démontrent que les couteaux en silex y étaient enfouis dans le limon sous-jacent d'un plancher de stalagmite de façon à prouver que l'homme avait habité cette région à l'époque où existaient également l'ours des cavernes et les autres membres de l'ancienne faune post-pliocène.

La certitude des preuves sur lesquelles était basée cette conclusion impressionna vivement un grand nombre de géologues français et anglais, et leur fit apprécier plus sérieusement l'opinion formulée par M. Boucher de Perthes, après ses découvertes à Abbeville ci-dessus mentionnées, et qui étaient généralement regardées comme douteuses et suspectes par le monde scientifique.

L'absence d'os rongés avait fait penser au Docteur Schmerling que, parmi les cavernes de Belgique, sujets de ses explorations, aucune n'avait servi de tanière aux bêtes fauves; mais il en existe plusieurs en Allemagne et en Angleterre qui ont eu positivement cette destination, et qui ont été spécialement occupées par l'ours et l'hyène d'espèces éteintes.

Nous trouvons un bel exemple de tanière d'hyène dans la caverne de Kirkdale, si bien décrite par feu le Docteur Buckland dans ses *Reliquiæ Diluvianæ*. On a découvert, dans cette caverne située à 40 kilomètres environ N.-N.-E. de New-York, les restes de 300 hyènes au moins, appartenant à des individus de tout âge. Cette espèce (*Hyæna spelæa*) éteinte, était plus grande que la féroce *Hyæna crocuta* de l'Afrique méridionale, à laquelle elle ressemblait beaucoup. Le Docteur Buckland, après avoir soigneusement examiné les lieux, démontra que les hyènes devaient avoir vécu sur la place; le fait était attesté par la présence de leurs excréments, qui, comme ceux des hyènes vivant de nos jours, ont une composition analogue à celle des os, et une résistance presque égale. On trouva dans la caverne, des restes de bœuf, de jeune éléphant,

d'hippopotame, de rhinocéros, de cheval, d'ours, de loup, de lièvre, de rat d'eau et de plusieurs oiseaux. Tous ces ossements paraissaient avoir été broyés et rongés par la dent des hyènes, et se montraient pêle-mêle dans le limon, ou disséminés dans une croûte de stalagmite qui les recouvrait. Dans ce cas et dans beaucoup d'autres analogues, on suppose que des portions de quadrupèdes herbivores ont été traînées dans l'intérieur des cavernes par ces bêtes de proie, et qu'elles ont servi à leur nourriture. Cette opinion concorde tout à fait avec les habitudes connues de l'hyène existante.

Période du Renne dans le midi de la France. — Dans un grand nombre de cavernes d'Europe, dans celles, par exemple, d'Angleterre, de Belgique, d'Allemagne et de plusieurs parties de la France, les restes d'animaux se rapportent spécifiquement à la faune de la division la plus ancienne, celle de l'âge de pierre, division à laquelle appartient le drift déjà décrit d'Amiens et d'Abbeville qui contient des silex d'une très-haute antiquité. Il existe, dans les départements de la Dordogne, de l'Aude et dans d'autres parties méridionales de la France, des cavernes particulières, qui, suivant M. Lartet, seraient d'une date intermédiaire entre l'ancienne division de l'âge de pierre et la période plus moderne représentée par les habitations lacustres de la Suisse. En 1863, M. Lartet donna, à cet âge intermédiaire, le nom de *Période du renne*, à cause des quantités considérables d'ossements et de bois de renne qui avaient été trouvés dans ces cavernes de France. On a rencontré, dans certains cas, des lames séparées de molaires de mammouth, ainsi que du grand daim d'Irlande, *Cervus Megacero*, et par-dessus des os de renne coupés et ciselés ; quant à savoir si ces quadrupèdes éteints ont été réellement contemporains, à l'époque en question, de l'homme et du renne, rien de bien prouvé à cet égard. Bien que la faune mammifère consiste en espèces vivantes, la présence du renne, de la marmotte et de plusieurs autres animaux du Nord, semble impliquer un climat plus froid que celui de l'époque des habitations lacustres de la

Suisse, dans lesquelles on n'a pas encore découvert de restes du renne. L'absence de ces ossements, dans les habitations lacustres de la Suisse, est d'autant plus significative, que l'on a trouvé dans une caverne aux environs du Lac de Genève, celle du Mont Salève, des os de renne avec des silex exactement semblables à ceux des cavernes de la Dordogne et du Périgord.

L'état des arts, d'après les instruments trouvés dans ces cavernes de la période du renne, est un peu plus avancé que celui de la période caractérisée par les objets du drift d'Amiens, mais il est pourtant plus rudimentaire que celui des constructions des lacs de la Suisse. On n'y rencontre pas d'objets en métal, et les haches de pierre ne sont pas polies à la manière des Celts; mais certains os portent des sculptures artistiques représentant des animaux, et les aiguilles en os parfaitement travaillées sont munies de leurs chas, percés avec une habileté consommée.

Caverne à brèches d'Australie. — Ce n'est pas seulement en Europe que l'on a trouvé des brèches ossifères, on en a découvert dans toutes les parties du globe. Celles qui proviennent des fissures et des cavernes d'Australie ont un caractère identique à ce que l'on a désigné sous le nom de brèche osseuse de la Méditerranée et dans laquelle les fragments d'os et de roche sont intimement réunis par un ciment de couleur ocre-rouge.

Sir T. Mitchell, mort depuis cette époque, explora quelques-unes de ces cavernes dans la vallée de Wellington, à 340 kilomètres à peu près à l'ouest de Sydney, sur la rivière Bell, une des sources principales du Macquarie, et sur les bords du Macquarie lui-même. Les cavernes se ramifient souvent dans des directions diverses à travers la roche, tantôt plus larges, tantôt plus étroites, et leurs voûtes et planchers sont recouverts de stalactite. Les ossements sont souvent brisés, mais ne semblent pas avoir été usés par l'action de l'eau. Dans certains endroits, ils sont enfouis dans une terre meuble, mais ordinairement ils sont emprisonnés dans une brèche.

Les restes que l'on a trouvés en plus grande abondance sont ceux du kangourou, dont on cite quatre espèces, outre les genres *Hypsiprymnus*, *Phalangista*, *Phascolomys* et

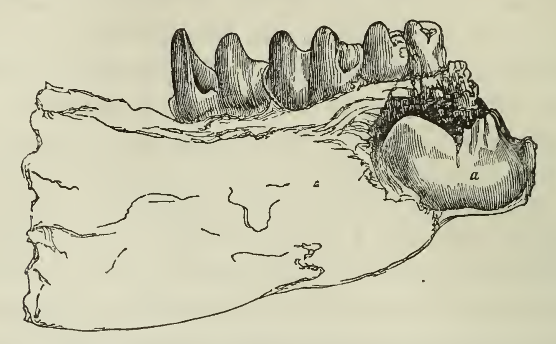


Fig. 110. — Partie de mâchoire inférieure du *Macropus atlas*. Owen. Jeune individu d'une espèce éteinte. — *a*. Fausse molaire dans son alvéole.

Dasyurus. On a également observé des os, que certains géologues supposèrent d'abord appartenir à l'hippopotame, et d'autres au dugong, mais que M. Owen a rapportés au genre des marsupiaux, alliés au *Wombat*.

Dans les fossiles ci-dessus mentionnés, plusieurs espèces

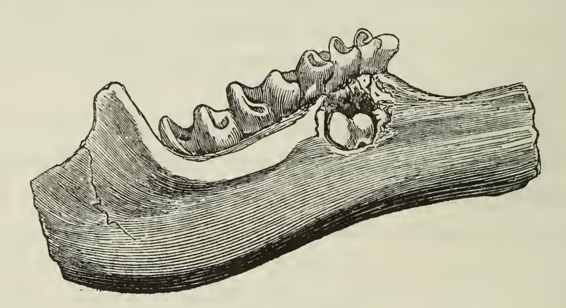


Fig. 111. — Mâchoire inférieure de la plus grande espèce de Kangourou (*Macropus major*).

sont plus grandes que les plus grandes espèces vivantes des mêmes genres, connues aujourd'hui en Australie. La figure précédente représentant le côté gauche d'une mâchoire inférieure de kangourou (*Macropus atlas*, Owen),

montre à première vue que ce côté surpasse en grandeur la partie correspondante du kangourou de la plus grande espèce actuelle (fig. 111). Dans ces deux spécimens, on a brisé la substance composant la mâchoire, pour laisser à nu la fausse molaire cachée dans l'alvéole (*a*, fig. 110). Cette molaire restée intacte, nous apprend que l'individu était jeune et n'avait pas perdu ses premières dents. La figure 112 représente une dent antérieure de la même espèce de kangourou.

Le lecteur observera que tous ces quadrupèdes éteints de l'Australie appartiennent à la famille des marsupiaux, et qu'ils se rapportent, pour l'organisation, au même type particulier qui distingue aujourd'hui les mammifères de l'Australie de ceux des autres parties du globe. Ce fait, au milieu de tant d'autres, conduit à une loi générale se déduisant de l'examen des vertébrés fossiles et des animaux invertébrés, qui appartiennent aux époques précédant immédiatement la nôtre, à savoir : que la distribution géographique actuelle des *formes* organiques remonte à une période antérieure à l'origine des *espèces* vivantes ; en d'autres termes, que la limitation de genres particuliers ou de familles de quadrupèdes, mollusques, etc., dans certaines régions de la terre ou de la mer telles qu'on les connaît aujourd'hui, a précédé l'apparition sur le globe de la plus grande partie de l'espèce présentement contemporaine de l'homme.


FIG. 112. — Incisive de *Macropus*.

Le professeur Owen, dans son excellente *Histoire des mammifères fossiles de l'Angleterre*, a appelé l'attention sur cette loi, en faisant remarquer combien les quadrupèdes fossiles d'Europe et d'Asie diffèrent de ceux de l'Australie ou de l'Amérique méridionale. C'est ainsi qu'on ne trouve, dans les provinces Européo-Asiatiques, ni kangourous fossiles, ni armadilles, mais l'éléphant, le rhinocéros, le cheval, l'ours,

l'hyène, le castor, le lièvre, la taupe et autres animaux qui caractérisent encore le même continent.

Il en est de même dans les Pampas de l'Amérique du Sud, où les squelettes de Megatherium, Megalonyx, Glyptodon, Mylodon, Toxodon, Macrauchenia et autres formes éteintes, sont analogues au paresseux, au tatou, au cavy, au capybara et au lama existants de nos jours. Les quadrumanes fossiles associés avec quelques-unes de ces formes dans les cavernes du Brésil, appartiennent à la famille des singes *platyrrhines*, particulière aujourd'hui à l'Amérique du Sud. La faune éteinte de Buenos-Ayres et du Brésil est de date très-moderne, ses rapports avec les dépôts de coquilles marines, analogues à celles qui habitent maintenant l'Atlantique, le démontrent clairement. En 1845, me trouvant en Géorgie, je m'assurai que les Megatherium, Mylodon, *Equus curvidens* et autres quadrupèdes parents du type Pampéen, qui avaient été recueillis par M. Hamilton Couper, avaient une date postérieure aux couches renfermant des coquilles marines de quarante-cinq espèces récentes de la mer voisine.

Il existe certainement quelques genres cosmopolites, tels que le Mastodonte (genre de la famille éléphant), et le cheval que différentes espèces fossiles représentent simultanément en Europe, dans l'Amérique du Nord et du Sud ; mais ce sont là de rares exceptions qui ne peuvent nullement infirmer la règle exprimée en ces termes par le professeur Owen : « Dans la classe la plus élevée des animaux organisés, les mêmes formes ont été restreintes durant les périodes du Pliocène (et nous pouvons ajouter Post-pliocène) aux mêmes grandes provinces que pendant l'époque actuelle. »

Bien qu'il nous soit permis de considérer comme modernes, au point de vue géologique, les époques du Nouveau Pliocène et du Post-pliocène, il est évident qu'il a fallu une intervention plus générale et plus puissante que celle de l'homme pour faire disparaître l'ancienne faune de tant de contrées si étendues. Il n'est pas d'espèce qui ne s'étendît

sur un vaste espace; le même Megatherium, par exemple, avait pour domaine les terres partant de la Patagonie et de la Plata dans l'Amérique méridionale, latitudes sud 31° et 39°, jusqu'aux latitudes correspondantes dans l'Amérique septentrionale; il habitait aussi la région intermédiaire du Brésil, car l'on a trouvé ses restes fossiles dans des cavernes de ce pays. On a rencontré pareillement des restes fossiles du Mammouth (*Elephas primigenius*), dans l'Amérique septentrionale ainsi que dans l'hémisphère oriental qui s'étend de la Sibérie au sud de l'Europe. Si l'on venait à objecter que, malgré l'aptitude de ces quadrupèdes à supporter de pareilles variations de climats et de conditions géographiques, la grandeur de leurs dimensions les exposait à être exterminés par les premières tribus de chasseurs, nous ferions observer que les explorations de Lund et de Clausen dans les cavernes à calcaire ossifère du Brésil ont démontré, que ces énormes mammifères étaient associés à un grand nombre de quadrupèdes aussi petits que le mulot, pour la plupart, qui tous ont péri ensemble, tandis que les coquilles terrestres, autrefois contemporaines de ces animaux, ont continué d'exister dans les mêmes contrées. Parfaitement convaincus que l'homme n'aurait pu détruire ces minimes quadrupèdes, surtout dans un pays aussi mal peuplé que le Brésil, nous sommes en droit de conclure, que toutes les espèces, petites et grandes, ont été anéanties, les unes après les autres, dans la suite indéfinie des temps, par ces changements dont les mondes organique et inorganique sont encore aujourd'hui le théâtre, et qui sont bien propres à modifier radicalement, dans le cours des siècles, la géographie physique, le climat et toutes les autres conditions dont dépend sur la terre la continuité de tout être vivant (1).

La loi ci-dessus énoncée des rapports géographiques entre les vertébrés vivants de chaque grande province géographique et les fossiles de la période immédiatement antérieure,

(1) Voir mes *Principes de géologie*, chap. XLI à XLIV.

même dans les contrées où les espèces fossiles sont éteintes, ne s'applique pas exclusivement aux mammifères. Dans les premières explorations faites dans la Nouvelle-Zélande par les Européens, on ne trouva ni quadrupèdes terrestres indigènes, ni kangourous, ni opossums, comme en Australie, mais on y obtint en abondance un oiseau dépourvu d'ailes, le plus petit représentant vivant de la famille des autruches, et que les natifs appellent le Kiwi (Apteryx). Dans les fossiles de la période Post-pliocène de cette île, on remarqua également l'absence des kangourous, opossums, wombats, etc., mais il existait à leur place une quantité prodigieuse de spécimens bien conservés et enfouis dans des formations superficielles, de gigantesques oiseaux de l'ordre des struthionidés, qui ont été désignés, par Owen, sous le nom de *Dinornis* et *Palapteryx*. Ces genres comprenaient plusieurs espèces; quelques-unes avaient un mètre de hauteur, d'autres 2 mètres, certaines $2^{m},50$ et d'autres jusqu'à 3 mètres. Il paraît peu probable que des mammifères quelconques aient occupé le pays en même temps que cette population de gigantesques bipèdes à plumes.

M. Darwin, en décrivant les mammifères récents et fossiles de l'Amérique du Sud, s'est beaucoup appesanti sur les rapports étonnants qui existent entre les types vivants et les types éteints dans cette partie du monde, et il conclut, de ces phénomènes géographiques, que les espèces actuelles se rattachent toutes, par un lien commun, aux espèces éteintes qui les ont précédées.

Édouard Forbes, ce naturaliste éminent de regrettable mémoire, a déclaré en 1846 être bien convaincu, que non-seulement la grande espèce de cerf éteinte, *Cervus megaceros*, mais encore le mammouth et d'autres pachydermes et carnivores disparus, vivaient en Angleterre après les froids extrêmes de la période glaciaire (1). Les observations récentes de M. Preswitch et du Docteur Falconer, sur les

(1) *Memoirs of Geol. Survey*, pp. 394, 397.

fossiles provenant du drift et des dépôts de cavernes d'Angleterre, ont confirmé cette opinion. Elles ont également prouvé qu'un nombre d'espèces perdues, plus grand que ne l'avait probablement soupçonné Forbes, était de date postérieure à la submersion de l'Angleterre centrale par les eaux de la mer Glaciale ; nous parlerons de cet événement dans le XIIe chapitre. M. Prestwich a montré qu'il existe, dans les graviers supérieurs de la Seine et de la Somme, des couches disloquées qui indiquent une action de la glace, analogue à celle qui est produite par la congélation de la surface des rivières, comme il arrive de nos jours dans les latitudes correspondantes du Canada. Comme ces graviers de niveau supérieur, contenant des ustensiles de fabrication humaine mêlés à des restes de mammifères éteints, se rapprochent d'autant plus de la période glaciaire qu'ils s'éloignent davantage de notre époque, il est naturel que nous y découvrions quelques indices d'un climat plus froid. Conformément à ces prévisions, outre la stratification disloquée, sur laquelle je reviendrai plus loin, les dimensions considérables de plusieurs fragments angulaires de roches que l'on trouve enfouis dans les mêmes bassins hydrographiques, viennent corroborer cette opinion de l'action de la glace.

A ceux qui nous demanderaient si le caractère des coquilles fluviatiles et terrestres des mêmes drifts post-pliocènes n'implique pas également un climat plus froid, nous répondrions que ces coquilles appartiennent généralement à des espèces identiques à celles qui habitent aujourd'hui les mêmes régions, et que la plupart d'entre elles, se trouvant de nos jours si abondamment répandues dans la Norwége et la Finlande, peuvent bien avoir prospéré à des époques où le froid, surtout en hiver, était plus rigoureux que de nos jours. Quand nous examinons mûrement l'ensemble des preuves relatives au climat consideré sur une grande étendue de l'Europe, nous nous trouvons en présence de véritables contradictions. Ces différences proviennent sans doute

des fluctuations post-glaciaires de la température, qui ont occasionné les migrations de quadrupèdes du nord au sud et du sud au nord, pendant les différentes saisons d'une même année, ou les phases successives de la même époque. Il est bien avéré que le renne et le buffle musqué, *Bubalus moschatus*, habitent actuellement les régions arctiques, et cependant on les rencontre à l'état fossile dans la vallée de la Tamise et dans celle de l'Avon, près de Batheaston, ainsi que dans le terrain de transport de la vallée de l'Oise, rivière tributaire de la Seine. On a découvert ce même buffle dans le drift post-pliocène de l'Allemagne du Nord, aux portes de Berlin, où il était accompagné, comme en Angleterre, du mammouth, *Elephas primigenius*, ainsi que de deux rhinocéros à cornes ou à bois, *R. tichorchinus ;* ces deux derniers mammifères furent trouvés par Pallas, avec leur chair, dans le gravier congelé de la Sibérie, près de Quedlinburg, et aussi dans le drift de l'Allemagne septentrionale où ils étaient associés au lemming de Norwége, *Myodes lemmus*, et à une autre espèce de la même famille, appelée par Pallas, *Myodes torquatus* (*Mysothermus torquatus* de Hensel). Ce dernier quadrupède provient de régions bien plus arctiques, car il fut observé par Parry à 82° de latitude nord, et il ne dépasse jamais, dit-on, les limites septentrionales de la région des forêts.

On n'a pas encore observé d'exemple, dans le nord de l'Allemagne, de l'association de ces lemmings, rennes et buffles musqués, avec l'hippopotame. Le dernier genre, quand on le rencontre en Angleterre, est ordinairement accompagné de l'*Elephas antiquus,* du *Rhinoceros hemitœchos* (Falc.) et quelquefois du *Rhinoceros leptorhinus*.

Les fouilles faites à Gray's Turrock, dans l'Essex, sur la rive gauche ou septentrionale de la Tamise, ont fourni en abondance, avec les trois pachydermes ci-dessus indiqués, une coquille fossile, *Cyrena fluminalis*, qui n'existe plus dans aucune rivière d'Europe, mais qui vit encore dans le Nil et dans certaines parties de l'Asie. Avec cette coquille, on observa, dans la même couche de sable et de gravier, le

Unio littoralis, espèce éteinte en Angleterre, et qui habite aujourd'hui les eaux de la Seine et de la Loire, en France. On pourrait objecter que, lorsque la *Cyrena fluminalis* abondait dans la Tamise, l'hippopotame pouvait bien s'accommoder du même climat, puisque le même mollusque et l'hippopotame actuel existent de nos jours conjointement dans le Nil. On a toute raison de supposer que, durant les siècles sans nombre qui doivent s'être écoulés depuis l'époque glaciaire, il s'est produit des oscillations dans la température, pendant lesquelles certains membres d'une faune méridionale ont émigré vers le Nord, qu'elles ont ensuite abandonné quand sont venues des saisons moins favorables, tandis que d'autres migrations avaient lieu dans une direction opposée, dans les régions où à un climat plus chaud succédait à un climat plus froid.

Dans la vallée de la Somme, les silex grossiers, que nous avons mentionnés page 188, ont été trouvés à Menchecourt près d'Abbeville, associés à la *Cyrena fluminalis* et à l'*Hippopotamus major*. On les a déterrés du gravier post-pliocène de niveau supérieur, et ils doivent êtres rapportés, suivant M. Prestwich, à une période à climat un peu plus chaud que celle du terrain de transport à niveau supérieur de cette même vallée. C'est dans ce drift supérieur et ancien de Saint-Acheul, près d'Amiens, que les silex obtenus en quantité plus considérable, avec les os de l'éléphant et des autres quadrupèdes post-pliocènes, prouvent que l'homme doit avoir existé, dans les temps préhistoriques, pendant plusieurs phases qui ont successivement modifié la configuration et le climat de cette région.

En 1863, dans l'ancienne alluvion du Wiley près de Salisbury, drift à niveau supérieur dominant de 30 mètres environ les prairies marécageuses actuelles, le Docteur Blackmore découvrit plusieurs individus de l'espèce lemming du Groënland, et plusieurs autres d'une espèce nouvelle de Spermophyles, type arctique voisin de celui de la marmotte. Ils étaient associés au mammouth, au rhinocéros

tichorin, à l'hyène des cavernes, au renne, et à plusieurs autres mammifères organisés, comme eux, pour un climat froid. Immédiatement dans le voisinage, se présente un gravier à niveau supérieur, de 27 mètres au-dessus du Wiley, d'où l'on déterra des silex considérablement roulés et analogues à ceux d'Amiens.

Après avoir examiné l'endroit, je conclus, avec le Docteur Blackmore, que ces silex et le gravier dans lequel ils étaient enfouis étaient plus anciens que les dépôts renfermant les mammifères éteints ; de sorte que nous pouvons supposer, dans ce cas, comme dans celui de Menchecourt déjà signalé, que les fossiles de niveau plus récent ou supérieur indiquent un climat plus doux.

Tous les quadrupèdes post-pliocènes à peu près connus ont été trouvés en Angleterre, soit dans les drifts de vallée, soit dans les dépôts de cavernes, accompagnés de couteaux ou de haches en silex, de façon à démontrer la coexistence de ces mammifères avec l'homme. L'antiquité de la race humaine peut donc être déduite des témoignages fournis concurremment par des faits géologiques de plusieurs classes indépendantes. En premier lieu, la disparition d'un grand nombre d'animaux sauvages sur un vaste continent, où l'homme peut avoir été même un agent puissant d'extermination, doit exiger, pour son accomplissement, un laps de temps considérable ; et certes, avant l'invention des armes à feu, il est difficile d'imaginer combien il a fallu de siècles pour achever une semblable extirpation. On ne saurait douter, en outre, que plusieurs espèces n'aient disparu à la suite de l'apparition de l'homme sur la terre, et avant la formation des amas de coquilles du Danemark, ou l'établissement des plus anciennes constructions lacustres de la Suisse. En second lieu, les rivières doivent avoir exigé des milliers d'années pour creuser et élargir leurs vallées, pour détacher par le frottement, et déposer, dans le limon et le sable, des fragments de roches et de galets, sur une échelle assez grande, pour produire les anciennes couches de gravier des vallées,

supérieures ou inférieures, contenant les ustensiles en silex et les ossements des mammifères éteints. En troisième lieu, il a fallu un temps considérable pour permettre aux sources et aux rivières engouffrées de changer leur cours, et aux cavernes situées sur la ligne des grands écoulements souterrains de se dessécher et d'avoir leurs planchers recouverts d'une croûte dure de stalagmites. Enfin, des siècles ont dû s'écouler pour que le changement dans le climat d'une vaste région ait produit des hivers moins rigoureux et que la distribution géographique de certaines espèces de mammifères et de coquilles terrestres et d'eau douce ait pu varier. La durée de l'époque historique, en la supposant de 3 à 4,000 ans, ne peut suffire à nous faire apprécier le nombre de siècles nécessaires pour une telle série de changements, qui ne sont nullement d'un caractère local, mais que nous avons déjà remarqués depuis l'Angleterre et le nord-ouest de la France, jusqu'à la Sardaigne et à la Sicile.

Longévité relative de l'espèce dans les mammifères et les testacés. — En 1830 (1), j'appelai l'attention sur un fait qui ne fut pas remarqué à cette époque, à savoir, que dans les dépôts post-pliocènes, l'association de coquilles, appartenant exclusivement à des espèces vivantes, avec plusieurs quadrupèdes éteints, dénotait une longévité de l'espèce dans les testacés surpassant de beaucoup cette même longévité de l'espèce dans les mammifères. Des recherches postérieures semblent montrer que cette plus grande durée des mêmes formes de l'espèce dans la classe des mollusques est soumise à une loi encore plus générale, c'est-à-dire que plus l'animal occupe un degré inférieur dans l'échelle zoologique et que plus est grande la simplicité de sa conformation, plus il conserve en général les caractères de son espèce à travers les incalculables périodes du temps. Les faits géologiques ne démontrent pas seulement que les invertébrés se sont modifiés moins rapidement que les

(1) *Principes de géologie*, 1re édit., vol. III, p. 140.

vertébrés, mais si nous considérons une classe de ces derniers, les mollusques par exemple, nous observons que les individus d'une structure plus simple ont varié à un moindre degré que ceux d'une organisation supérieure et plus complexe : ainsi, pour les brachiopodes, la transformation a été plus lente que pour les bivalves lamellibranches, et les caractères de l'espèce ont persisté plus longtemps dans ces derniers que dans les univalves, gastéropodes ou céphalopodes. De même, dans les foraminifères, qui occupent le rang le plus bas dans la classe des vertébrés, les caractères de l'espèce ont conservé plus longtemps leur identité que dans les mollusques.

Dents de mammifères post-pliocènes. — Il peut paraître incroyable à ceux qui n'ont jamais étudié l'anatomie comparée, qu'un habile ostéologue puisse, avec un

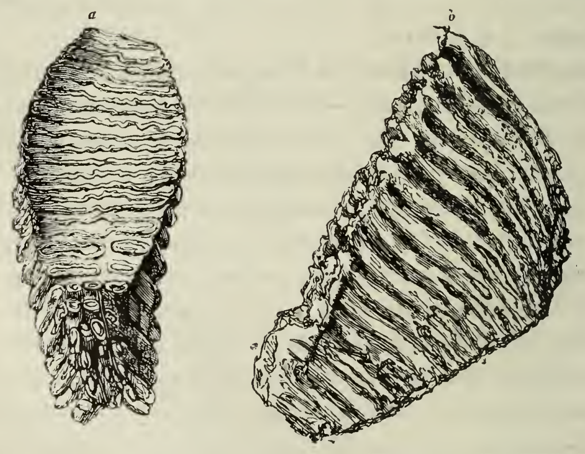


FIG. 112 *a.* — *Elephas primigenius* ou Mammouth ; Post-pliocène ; molaire de mâchoire supérieure, côté droit ; tiers de grandeur naturelle. — *a.* Surface de broiement. — *b.* Vue de côté.

seul os pris dans une partie quelconque du squelette, reconnaître, dans la plupart des cas, le genre et quelquefois l'espèce du quadrupède auquel ce squelette appartient. Quoique fort peu de géologues puissent acquérir un tel

savoir, fruit d'une longue pratique et d'études sérieuses, il sera néanmoins fort avantageux et relativement assez facile d'apprendre à distinguer, par la forme et les caractères des dents, les principales divisions de mammifères.

Les figures suivantes représentent les dents des genres et

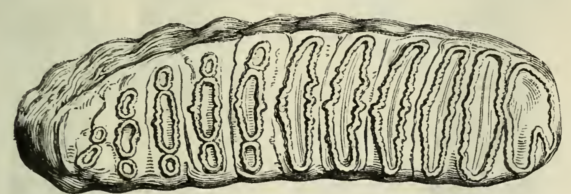


Fig. 113 — *Elephas antiquus*. Falconer. — Molaire pénultième ; un tiers de grandeur naturelle. — Post-pliocène et Pliocène.

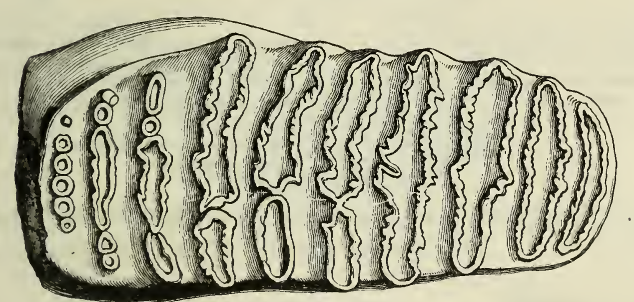


Fig. 114. — *Elephas meridionalis*. Nesti. — Molaire pénultième ; un tiers de grandeur naturelle. — Post-pliocène et Pliocène.

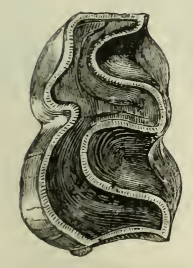


Fig. 115. — *Rhinoceros leptorhinus*, Cuvier. = *Rhin. megarrhinus*, Christol. — Fossile des couches d'eau douce de Gray's Essex ; pénultième molaire, mâchoire inférieure, côté gauche ; deux tiers de grandeur naturelle. Post-pliocène et Nouveau pliocène.



Fig. 116. — *Rhinoceros tichorhinus ;* pénultième molaire, mâchoire inférieure, côté gauche ; deux tiers de grandeur naturelle. Post-pliocène.

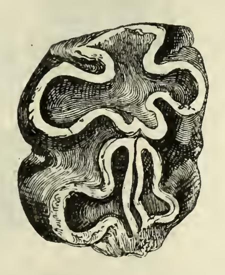


Fig. 117. — *Hippopotamus ;* d'une caverne près de Palerme ; molaire ; deux tiers de grandeur naturelle. Post-pliocène.

des espèces les plus communs qui ont été trouvés dans les dépôts alluvions et de cavernes.

En comparant les surfaces de broiement des molaires



Fig. 118. — Cochon. *Sus scrofa*, L. (cochon commun), de la marne coquillière du Forfashire; molaire postérieure, mâchoire inférieure; grandeur naturelle. Récent.

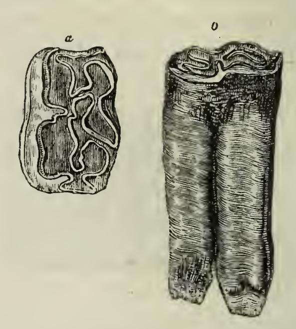


Fig. 119. — Cheval. *Equus caballus*, L. (cheval commun), de la marne coquillière du Forfashire; seconde molaire, mâchoire inférieure. Récent.
a. Surface de broiement, deux tiers de grandeur naturelle.
b. Face latérale de la même dent; demi-grandeur naturelle.

correspondantes des trois espèces d'éléphants, fig. 112 *a*, 113, 114, on remarquera que les grains de l'émail sont

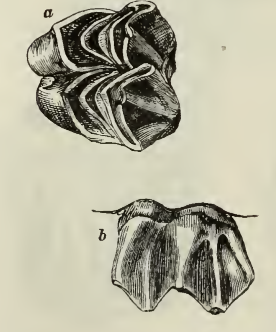


Fig. 120. — *a*, *b*. Daim. Helk. (*Cervus alces*, L.). Récent; molaire de la mâchoire supérieure.
a. Surface de broiement.
b. Face latérale; deux tiers de grandeur naturelle.

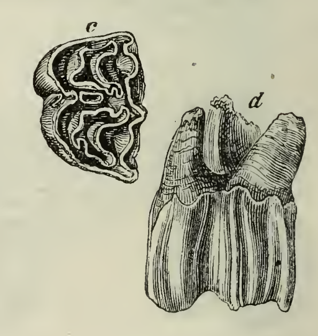


Fig. 121. — *c*, *d*. Bœuf. Bœuf commun, de la marne coquillière du Forfashire. Vraie molaire, mâchoire inférieure; deux tiers de grandeur naturelle. Récent.
c. Surface de broiement.
d. Face latérale; canines supérieures.

plus nombreux dans le mammouth, moins nombreux et

plus larges, c'est-à-dire plus épanouis, dans l'*E. antiquus*, et



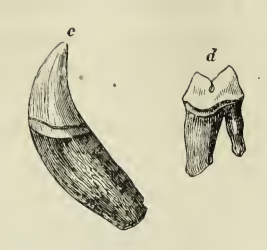


FIG. 122. — Ours. *a.* Dent canine ou croc d'ours (*Ursus spelæus*); d'une caverne près de Liége. — *b.* Molaire du côté gauche, mâchoire supérieure ; un tiers de grandeur naturelle. Post-pliocène.

FIG. 123. — Tigre. *c.* Dent canine de tigre (*Felis tigris*). Récent. — *d.* Vue extérieure de la molaire postérieure, mâchoire inférieure; un tiers de grandeur naturelle. Récent.



FIG. 124. — *Hyæna spelæa;* mâchoire inférieure. Puits du Kent, à Torquay; Devonshire. Un tiers de grandeur naturelle. Post-pliocène.



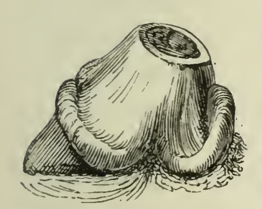


FIG. 126.

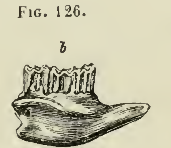




FIG. 125. — *Hyæna spelæa;* seconde molaire, côté gauche, mâchoire inférieure; grandeur naturelle. — Caverne de Kirkdale. Post-pliocène.

FIG. 126. — Dents d'une nouvelle espèce d'*Arvicola*, mulot; du Crag de Norwich. Nouveau pliocène. — *a.* Surface de broiement. — *b.* Face latérale. — *c.* Grandeur naturelle de *a* et *b*.

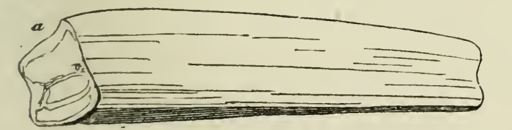




FIG. 127. — *a.* Quatrième molaire, côté droit, mâchoire inférieure. *Megatherium;* Géorgie (États-Unis); un tiers de grandeur naturelle. Post-pliocène. — *b.* Couronne de la même dent.

bien plus distincts encore et bien moins multipliés dans l'*E. meridionalis*. On observera également que cet émail est plus épais dans la molaire du rhinocéros tichorinus (fig. 116) que dans celle du rhinocéros leptorhinus (fig. 115).

CHAPITRE XI

SUITE DE LA PÉRIODE POST-PLIOCÈNE. — ÉPOQUE GLACIAIRE.

Distribution géographique, forme et caractères du terrain de transport glaciaire (drift). — Roches fondamentales polies, sillonnées et striées. — Action striante et érosive des glaciers. — Moraines, blocs erratiques et *Roches moutonnées*. — Blocs alpins du Jura. — Dimension colossale des anciens glaciers de la Suisse. — Glace continentale du Groënland. — Anciens centres de dispersion des erratiques. — Transport du drift par des bancs de glace flottants. — Lit de la mer sillonné et poli par la course rapide d'îles de glaces flottantes échouées. — Comment on distingue le drift glaciaire d'origine sous-marine de celui d'origine terrestre.

Parmi les différentes sortes d'alluvions décrites dans le septième chapitre, nous avons mentionné en passant les formations de transport, et attribué leur origine à l'action des glaciers et des glaces flottantes. Cette formation, qui a reçu les noms divers de *diluvium*, *drift du nord*, *argile pierreuse* (boulder clay), *et dépôts glaciaires*, abonde dans la partie de l'Europe septentrionale du 50e parallèle de latitude et vers le 40e dans le nord de l'Amérique. Elle manque dans les régions plus chaudes de l'Équateur et apparaît de nouveau dans les contrées limitées par les 40e et 50e parallèles de l'hémisphère sud, comme en Patagonie, dans la Terre-de-Feu et la Nouvelle-Zélande. Elle consiste en sable et argile, quelquefois stratifiés, mais souvent dépourvus de toute stratification dans une profondeur de 15, 30 mètres et même plus. La partie non stratifiée a reçu en Écosse le nom de *Till*. On y trouve généralement des fragments de roches, quelques-uns d'un volume considérable, anguleux ou arrondis, comprimés et aplanis sur un ou plusieurs de leurs côtés, et même parfois parfaitement polis. On remarque ordinairement sur les surfaces planes de nombreuses stries parallèles entre elles, dont une rangée en croise

souvent une autre plus anciennement formée. Presque partout le Till ne présente presque d'autres débris organiques que ceux qui ont été arrachés par les eaux à des formations plus anciennes ; en certains endroits cependant il contient des coquilles marines d'espèces arctiques, pour la plupart à l'état fragmentaire. Comme la masse du Till provient habituellement de roches apportées dans le limon de points immédiatement rapprochés, sa couleur est rouge dans une contrée de grès rouge, comme à Strathmore dans le Forfashire, grise ou noire dans un district de houille ou de schiste houiller, comme aux environs d'Édimbourg, et blanche dans un pays crayeux, comme dans certaines parties du Norfolk et du Danemark. Les fragments de pierre irrégulièrement disséminés dans la masse du Till appartiennent ordinairement, surtout dans les contrées montagneuses, aux roches qui font partie du même bassin hydrographique. Il existe pourtant des régions où cette masse d'argile pierreuse (*boulder clay*) a été apportée de points éloignés, et où ces blocs énormes, ou *erratiques*, comme on les a appelés, quelquefois de plusieurs mètres de diamètre, ont fréquemment accompli des parcours de centaines de kilomètres à partir des roches mères dont ils ont été évidemment détachés. Ces roches sont communément anguleuses, et ont souvent un ou plusieurs de leurs côtés polis et sillonnés.

Lorsque la roche en place sur laquelle repose la formation de transport est un granit, un gneiss, un marbre ou toute autre pierre dure qui puisse conserver longtemps les marques imprimées à sa surface, elle est ordinairement nivelée ou polie, comme les erratiques signalés ci-dessus, et montre des stries parallèles et des sillons à direction déterminée. En Europe et dans l'Amérique du Nord, cette direction se lie généralement et d'une manière évidente à la ligne de parcours suivie par les blocs erratiques dans les mêmes régions.

Lorsque les géologues étudièrent pour la première fois l'argile pierreuse, ils trouvèrent cette formation si singulière et si anormale, qu'ils désespérèrent de pouvoir jamais

expliquer ces phénomènes par les causes incessamment actives de nos jours. Dans les cas exceptionnels, où l'on trouva des coquilles marines de même date que le Till, ces coquilles furent reconnues appartenir à des espèces vivantes. Ce fait semblait conspirer, avec la position superficielle du drift, pour démontrer une origine comparativement moderne. Cette date récente ne faisant que rendre la solution du problème plus embarrassante, corrobora l'opinion que ces phénomènes étaient le résultat de forces distinctes, et par leur nature et par leur énergie, de celles qui agissent de nos jours dans le cours ordinaire de la nature. Ces idées ne servirent qu'à retarder le progrès des sciences, en détournant l'attention de ces opérations de chaque jour, auxquelles on déniait le pouvoir de produire des effets analogues.

Le mot *diluvium* a servi pendant quelque temps de désignation vulgaire à la formation de transport rapportée par quelques géologues au déluge de Noé ; d'autres savants ont adopté ce mot comme expression de leur opinion propre, suivant laquelle, une série d'inondations diluviennes, occasionnées par les ouragans et les tempêtes, les tremblements de terre ou les exhaussements du sol au-dessus du lit de la mer, auraient envahi les continents, et charrié des masses considérables de boue et de pierres, — celles-ci, frottant sur la surface des roches de manière à la polir et à y produire des sillons et des stries.

Mais on ne tarda pas à s'apercevoir que ces formations étaient caractéristiques des latitudes septentrionales et que les dimensions et la quantité des blocs erratiques allaient en augmentant, à mesure que l'on se rapprochait des régions arctiques. Comment ne pas être frappé du contraste des bords de la Baltique avec ceux de la Méditerranée ? La présence multipliée des blocs transportés et des roches striées dans une région, et l'absence de pareilles masses dans une autre, étaient des faits trop remarquables pour passer inaperçus. Le grand développement, même, de cette formation

de transport, la présence de grands erratiques dans des contrées aussi septentrionales que les Alpes, constituent une exception à la règle générale qui ne peut que confirmer l'hypothèse d'une liaison intime de cette formation avec les accumulations de neige et de glace.

Couches érodées, polies, striées et transportées par l'action des glaciers. — Tout le monde sait que certaines parties des Alpes dont les sommets s'élèvent à des hauteurs de plus de 2500 mètres au-dessus du niveau de la mer sont couvertes de neiges perpétuelles. Cette neige, par les additions annuelles de ses couches, croîtrait indéfiniment en hauteur, si cette accumulation n'était empêchée par la descente continue de parties considérables de cette neige obéissant à la loi de la pesanteur. En glissant lentement sur les flancs des vallées principales des plus hautes montagnes, elle se transforme en glace solide, et forme ce qu'on appelle des glaciers, ou rivières de glace, dont les extrémités, lorsqu'elles atteignent des régions plus chaudes, donnent naissance à des torrents. On voit sur les bords de chaque glacier, aux deux côtés, des amas ou talus de débris, consistant en fragments anguleux de roches, avec des monceaux de sable et de limon. On observe, à une certaine distance de chaque côté, et souvent au centre, des élévations composées de débris semblables et qui ont de 9 décimètres à 3,50 mètres de hauteur. Chacune de ces élévations, de même origine que les amas latéraux, a l'aspect d'un talus formé par l'accumulation des terrains au pied d'une pente abrupte ou d'un précipice. La gelée, la pluie, la foudre et les avalanches de neiges vont sans cesse détachant des fragments de roche et de terre qui se précipitent ou roulent jusqu'au fond de ces précipices. Si ces amas de matériaux meubles étaient entraînés par les eaux d'une rivière, leur base serait bientôt minée et désorganisée; mais lorsque ces matières sont précipitées sur la bordure d'un glacier, qui avance nuit et jour d'une marche progressive et continue à raison de plusieurs centimètres et quelquefois de 3 ou 6 décimètres en 24 heures, le talus entier

se met en mouvement et se transforme en un torrent prolongé de blocs et de matières terreuses, qui bordent les deux côtés du glacier et constituent ce que l'on appelle des moraines latérales. Dans le cas assez fréquent des glaciers confluents, la moraine latérale de droite de l'un se réunit à celle de gauche de l'autre ; et, entraînées toutes les deux dans le milieu de la masse de glace, formée par la réunion des deux glaciers, elles forment ce qu'on nomme une moraine médiane. Le nombre et la position de ces moraines dépendront du nombre et des dimensions des glaciers tributaires qui viennent se confondre avec le glacier principal.

Dans ces actions mécaniques de la nature, ce ne sont pas seulement de petites pierres et de la terre qui sont entraînées des hauteurs des montagnes dans les bas-fonds des vallées et dans les plaines, mais encore des blocs erratiques de dimensions énormes qui mettent, pour accomplir leur voyage de 30 à 50 kilomètres, une série de plusieurs siècles, en conservant ordinairement leurs arêtes vives et tranchantes jusqu'à la fin.

Quand un glacier passe sur un terrain inégal, il se fond, et offre dans sa largeur de profondes et larges fissures transversales, dans lesquelles sont précipitées des portions de moraines latérales ou médianes. Des filets d'eau, provenant de la liquéfaction de la glace produite en été par les rayons du soleil, courent à la surface du glacier, jusqu'à la rencontre des fissures, dans lesquelles ils s'engouffrent en cascades. C'est de cette source, aussi bien que des eaux vives qui se frayent parfois un passage sous le glacier, que naissent ces torrents qui descendent sous la glace, encaissés dans de véritables tunnels, au fond desquels, les pierres anguleuses tombées à travers les fissures prennent des formes arrondies, comme dans le lit ordinaire d'une rivière. D'autre part des blocs et des galets, solidement emprisonnés dans la glace qui s'est formée autour d'eux, suivent au fond du glacier le mouvement de la masse, et usent, sillonnent et polissent la roche sous-jacente, en même temps que les blocs

eux-mêmes sont réciproquement usés, polis et striés sur leur face inférieure. Comme les forces de pression et de propulsion sont énormes, chaque petit grain de sable, si c'est du quartz ou autre matière minérale dure, use et polit la surface de la roche sous-jacente ou de la formation pierreuse qu'elle fouille, comme un diamant coupe le verre ou comme l'émeri polit l'acier. Les stries et les sillons profonds qui résultent de cette action sont rectilignes et parallèles, et d'une façon si marquée, qu'on n'en a jamais vu de comparables sur les assises pierreuses ou roches, qui reçoivent le choc des galets poussés par un torrent ou par les vagues de la mer.

Comme l'eau est toujours courante sous certaines parties d'un glacier, que la fonte de la glace et sa formation nouvelle s'opèrent suivant une marche progressive en des endroits différents, les pierres sont sujettes à changer de place. Dans ce cas, il peut se former dans une autre direction une seconde rangée de sillons et de stries, ou bien un autre côté de la pierre peut être, à son tour, aplani, strié et poli. De même, la roche solide sous-jacente au glacier peut offrir des sillons et des stries dirigées dans plus d'un sens. Les sillons, pour la plupart, coïncideront avec la pente générale de la vallée; mais comme la quantité de glace varie avec les saisons, et que sur un point donné la direction de ce mouvement n'est pas uniforme, les stries et les sillons présenteront également un aspect différent, une rangée faisant souvent intersection avec une autre.

Quand un glacier de la Suisse, chargé de boue et de pierres, descend dans une région située à 1,050 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, il fond si rapidement en été sous l'influence d'une température plus élevée, que la masse ne peut aller plus loin, malgré la force du mouvement descendant qui lui a été imprimé.

Les limites précises varient d'année en année, et plus sensiblement encore de siècle en siècle. On cite l'exemple d'une retraite de 800 mètres en une seule année. Nous savons aussi, d'après M. Venetz, qu'entre le onzième et le

quinzième siècle, tous les glaciers des Alpes avaient une position moins avancée qu'aujourd'hui, mais qu'à partir des dix-septième et dix-huitième siècles ils commencèrent à progresser, de manière à intercepter des routes et à recouvrir des forêts.

Ces oscillations permettent au géologue de suivre les traces laissées par la retraite des glaciers, et parmi lesquelles les plus remarquables sont les moraines terminales, ou mon-

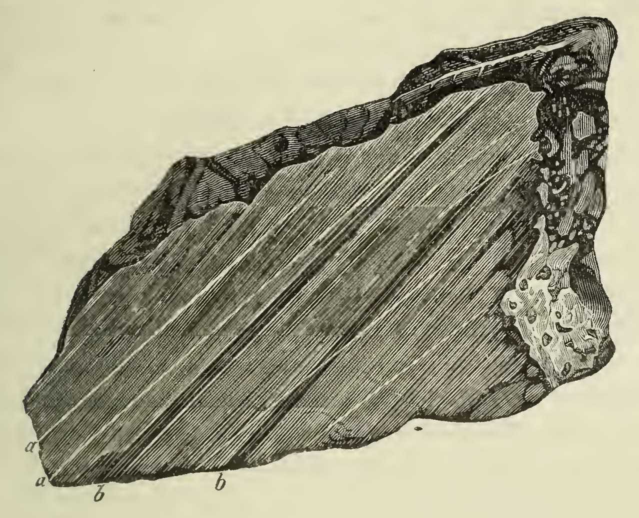


FIG. 128. — *Calcaire poli, sillonné et strié par le glacier de Roséalauï, en Suisse* (Agassiz).

a. a. — Raies blanches ou stries, produites par les petits grains quartzeux enchâssés dans la glace.

b. b. Sillons.

ceaux de débris non stratifiés, ressemblant au Till déjà décrit. Toute la boue, le sable et les fragments de roches, dont le glacier était chargé, se sont déposés lentement dans un même endroit, à l'abri de l'action d'une eau courante, qui aurait désagrégé ces amas, en enlevant des pierres les particules plus petites et plus légères qu'elle aurait entraînées plus loin. Ces moraines terminales croisent souvent la vallée comme des barrières transversales, et sont plus ou moins partagées en petites masses ou monticules par l'action du

torrent qui se précipite du sommet du glacier. Ces barrières transversales ont été, pour la première fois, signalées par de Laussure, au-dessous du glacier du Rhône, comme preuve de l'extension primitive du glacier hors de ses limites actuelles. Sur ces moraines, on voit de gros blocs anguleux, qui, transportés à la surface du glacier, n'ont pas été entamés sur leurs bords par le frottement ; on en trouve aussi de dimensions variables, qui, pour la plupart, ont été arrondis, comme nous l'avons déjà indiqué, par l'action de l'eau courant sous les glaciers, et d'autres, par la force mécanique de la glace qui les a poussés les uns contre les autres ou contre les roches qui encaissaient les vallées.

Si les moraines terminales sont les monuments les plus emarquables laissés par la retraite d'un glacier, ce sont aussi les plus sujets à la destruction, car de violentes inondations ou débâcles sont souvent occasionnées dans les Alpes par le démembrement subit de ce qu'on appelle des lacs glaciaires. Ces nappes d'eau accidentelles sont dues au barrage d'une rivière par un glacier qui, après avoir augmenté pendant une succession de saisons froides, est descendu d'une vallée tributaire dans une vallée principale, et l'a occupée d'un versant à l'autre. A la rupture de cette barrière de glace, les eaux accumulées se répandent, entraînent ou nivellent une portion considérable du rempart transversal de blocs et de gravier, et disséminent les matériaux sur la plaine de rivière en lits confus et irréguliers.

A ces roches polies, striées et sillonnées à leur surface, que nous avons déjà décrites, on doit ajouter, comme preuve de l'action primitive des glaciers, les roches désignées sous le nom de *roches moutonnées*. Ce sont des roches dont les proéminences ont été usées et adoucies en forme de mamelons arrondis par le passage du glacier.

Bien que la surface de toutes les roches se dégrade et se décompose sous l'influence de l'air, il en est qui conservent presque indéfiniment leur poli et leurs sillons ; et, pour peu qu'elles soient protégées par une enveloppe de terre ou de

gazon, ces marques de frottement paraissent susceptibles d'une durée éternelle. On en a observé dans les Alpes, à de grandes hauteurs au-dessus des glaciers actuels, et à de grandes distances horizontales de ces glaciers.

Sur les versants des vallées Suisses, on rencontre aussi des creux arrondis, profonds, à parois polies, semblables à ceux que des chutes d'eau produisent dans une roche solide, mais qui se trouvent loin de tout cours d'eau et sur des points où l'on ne saurait supposer qu'aucune cascade ait jamais existé. Ces cavités sont communes dans les roches dures, telles que le gneiss en Suède ; on les appelle *marmites de géants*, et elles atteignent quelquefois 3 mètres et plus de profondeur. Dans les Alpes et le Jura, elles passent souvent à l'état de poches et de gouttières prolongées. D'après M. Agassiz, des trous analogues sont produits actuellement par des cours d'eau qui, après avoir coulé à la surface d'un glacier, tombent dans quelque fissure, sous forme de cascades. L'eau, par sa chute, entraîne le gravier et le sable, lui imprime un mouvement de rotation sur le fond et creuse un trou rond dans la roche ; mais comme la cascade avance en même temps que le glacier, telle cavité qui serait restée un trou circulaire devient un sillon profond. La forme du fond rocheux de la vallée sur lequel se meut le glacier détermine les fissures de la glace, et, par suite, le renouvellement annuel de cascades incessamment reproduites sur les mêmes points.

Un autre effet d'un glacier est l'incrustation d'un amas circulaire de pierres autour de la cime d'un pic conique ou celle d'un bloc isolé à pointe aiguë, faisant saillie au travers de la glace ; quand la fonte fait baisser le niveau du glacier, ces cercles de gros fragments anguleux nommés *blocs perchés*, restent dans une position singulière au sommet d'un piton escarpé, tandis que les parties inférieures sont parfois dépourvues de blocs de transport.

Blocs alpins sur le Jura. — Les moraines, les erratiques, les surfaces polies, les dômes, les stries, les marmites

de géants, les roches perchées, toutes ces traces se rencontrent aujourd'hui dans les Alpes, à de grandes hauteurs au-dessus des glaciers, et à des distances considérables de leur limite actuelle ; on les retrouve sur une largeur de 80 kilomètres dans la grande vallée Suisse, et presque partout sur le Jura, chaîne qui court au nord de cette vallée, et dont les cimes, aujourd'hui complétement dépourvues de glaciers, atteignent à peine le tiers de la hauteur des Alpes.

Les erratiques qui couvrent le Jura ont, pendant plus d'un demi-siècle, embarrassé les géologues. En voici l'explication la plus plausible : ces blocs de granit, de gneiss et d'autres formations cristallines, disséminés aujourd'hui sur des montagnes et des vallées composées de calcaire et d'autres formations tout à fait distinctes de celles des Alpes, seraient cependant originaires de cette dernière chaîne et auraient franchi un espace de plus de 80 kilomètres, en traversant une des plus larges et des plus profondes vallées du globe. On s'étonne qu'après un si long voyage ils aient conservé leur volume et leur forme anguleuse ; plusieurs sont gros comme des maisons, et l'un d'eux, en particulier, composé de gneiss, célèbre sous le nom de *Pierre à Bot*, est posé sur le versant d'une montagne, à 274 mètres environ du lac de Neuchâtel, et ne mesure pas moins de 12 mètres de diamètre.

En 1821, M. Venetz a le premier émis l'opinion que les glaciers des Alpes s'étaient jadis étendus bien au delà de leurs limites actuelles; ses arguments furent plus tard confirmés par les observations de M. Charpentier. Ce savant déclara, en 1836, que, d'après sa conviction, les glaciers des Alpes s'étaient jadis prolongés jusqu'au Jura, et qu'ils y avaient porté leurs moraines à travers la grande vallée de la Suisse. M. Agassiz, après maintes excursions faites dans les Alpes avec M. Charpentier, et après s'être consacré lui-même pendant plusieurs années à l'étude des glaciers, en publia, en 1840, une admirable description et fournit des témoignages qui attestent l'action primitive de grandes masses de glace sur toute l'étendue des Alpes et de la

contrée environnante (1). M. Charpentier soutenait que les Alpes, au temps où elles étendaient sans interruption leurs glaciers jusqu'au Jura et transportaient ces masses d'erratiques sur ces montagnes, étaient d'une hauteur supérieure de 600 à 900 mètres à celle qu'elles ont aujourd'hui. Le Professeur James D. Forbes, dans l'excellent ouvrage sur les Alpes qu'il publia en 1843, conclut de même que les anciens glaciers avaient eu autrefois une étendue colossale, et s'étaient étendus de la chaîne principale des Alpes jusqu'au Jura.

On a depuis longtemps abandonné l'ancienne théorie de De Saussure, suivant laquelle les erratiques auraient été roulés à de grandes distances par un courant rapide d'eau boueuse descendu des Alpes ; et l'étude attentive de la distribution actuelle des masses voyageuses a ruiné l'hypothèse, adoptée par moi dans le principe, que la Suisse aurait été couverte par les eaux de la mer, et que les moraines ou blocs erratiques auraient été transportés, sur des radeaux de glaces ou glaces flottantes, des Alpes à la chaîne du Jura, dont les sommets auraient formé une île à cette époque. En examinant leur arrangement, soit au nord ou au sud de la grande chaîne, soit dans le pays de Vaux, dans le Jura ou dans les plaines du Pô, on reste convaincu que ces blocs ont été transportés dans les lieux qu'ils occupent actuellement, par des glaciers aux dimensions énormes, suivant la pente des vallées qui existaient à l'époque où tous les grands lacs étaient remplis de glace, et n'étaient, en d'autres termes, qu'une continuation de ces mêmes glaciers. L'absence complète de coquilles marines dans l'ancien drift glaciaire de la Suisse et des Alpes en général vient confirmer cette théorie, en détruisant l'opinion d'une submersion marine. Les observations, dans les formations de transport, d'un arrangement analogue à celui des moraines, ont conduit également les géologues les plus expérimentés de la Suisse et de l'Italie, qui ont consacré dans ces dernières années

(1) Agassiz, *Études sur les glaciers et Système glaciaire.*

beaucoup de temps et de savoir à l'étude de ce sujet, à adopter cette théorie des glaciers. Entre autres auteurs, on peut citer, MM. Studer, Guyot, Escher, Von der Linth, Morlot, Gastaldi, Gabriel de Mortillet, Omboni, etc.

Il est bien démontré que les formations de transport, et que tous les phénomènes consécutifs de roches striées, moutonnées, et de blocs erratiques transportés, deviennent de plus en plus considérables à mesure qu'on se rapproche des hautes latitudes. On en trouve, par exemple, un développement caractéristique en Norwége, en Suède et dans le Danemark, ainsi que sur les bords méridionaux de la Baltique, et dans l'Allemagne septentrionale. On les observe aussi dans les régions montagneuses de l'Écosse, du pays de Galles, et en général des Iles Britanniques. Outre les divers aspects déjà décrits, sous lesquels se présentent ces formations, on les trouve çà et là, dans les contrées que nous venons de citer, accompagnées de coquilles fossiles marines, appartenant exclusivement à la période glaciaire ; ces coquilles, par leur caractère arctique si marqué, ont nécessairement fait admettre au géologue, n'eût-il pas même rencontré d'autres signes de l'action de la glace, la prédominance primitive d'un climat plus froid. Les mêmes coquilles marines démontrent que de vastes surfaces ont été submergées, dans la Scandinavie et dans les Iles Britanniques, etc., pendant certaines périodes de l'époque glaciaire.

On doit signaler, comme trait caractéristique des dépôts en question, la présence, dans toutes ces contrées, sur des points éloignés des hautes montagnes, de gros blocs erratiques et quelquefois des matériaux à moraines, visibles à la surface et séparés des roches mères les plus voisines par de grandes vallées intermédiaires, ou par des bras de mer. D'après toutes ces apparences, nous devons supposer que des changements géographiques importants ont eu lieu postérieurement à la formation du drift. On remarque souvent des stries et des sillons, dans les pays mêmes qui semblent n'avoir subi aucune altération locale, par suite d'exhaussement ou

d'abaissement, en Suède, en Norwége, en Écosse, par exemple, contrées qui n'ont aucun rapport direct avec la direction suivie par aucun de ces glaciers détachés, qui seraient descendus autrefois en traversant les vallées existantes. Si l'on considère la ligne actuelle d'écoulement, comme contemporaine de ces phénomènes, la plupart des traces laissées par ces glaciers indiqueraient une déviation dans la marche qu'ils auraient dû suivre, et, par suite, l'existence d'un ordre de choses tout autre et de conditions bien différentes de celles de l'époque où régnait un froid plus rigoureux. L'état actuel du Continent, dans le Groënland septentrional, nous semble fournir les meilleures explications de ces traces anormales des glaciers.

Cette contrée nous a été fidèlement décrite par Rink, le gouverneur actuel des Établissements Danois de la Baie de Baffin, qui, mieux que tout autre voyageur scientifique, a exploré les côtes et l'intérieur du pays (1). La contrée, dit-il, peut être divisée en deux régions, la terre intérieure et les côtes. La terre intérieure a 1,280 kilomètres de l'est à l'ouest, et une étendue beaucoup plus grande du nord au sud. C'est un vaste continent inexploré, enseveli sous une masse continue et colossale de glace, toujours en mouvement vers la mer, dont une très-petite partie se dirige vers l'est, et tout le reste vers l'ouest ou la Baie de Baffin. Les moindres plis de terrain et les vallées forment une surface de niveau, cachée sous une couche générale de neige ; çà et là quelques montagnes abruptes surgissent brusquement de la glace inclinée, et des lignes superficielles de pierres ou de moraines deviennent visibles en certaines saisons, lorsqu'il n'est pas tombé de neige pendant plusieurs mois, et que l'évaporation produite par le vent et le soleil a fait disparaître la couche supérieure des neiges. En enfonçant plus avant vers l'est, à 72° de latitude nord, Rink observa de nouvelles lignes de ces pierres indiquant, à une distance

(1) Rink, *Journal of royal geograph. Soc.*, vol. XXIII, p. 145, et Lyell, *Antiquity of man.*, p. 235.

excessive, l'existence de montagnes escarpées, dont les sommets perçaient la neige encore plus loin vers l'est. La hauteur de ce continent est inconnue, mais elle doit être très-considérable, car les terres des bords, qui ont été décrites comme étant comparativement basses, atteignent une hauteur de 1200 et 1800 mètres. La pente glacée s'abaisse vers les bords et se termine là brusquement sous forme d'une masse de 600 mètres d'épaisseur; la grande décharge des glaces s'opère par de vastes embouchures qui ont ordinairement 6 kilomètres de largeur. Au bas de ces embouchures, la glace s'amoncelle en masses énormes de plusieurs kilomètres qui continuent leur course, en frottant le lit rocheux, à la manière des glaciers ordinaires, longtemps après leur immersion dans l'eau salée ; quand elles arrivent enfin à cet endroit de la Baie de Baffin où les eaux sont assez profondes pour engloutir des bancs de glace d'une épaisseur de 300 à 450 mètres, des fragments se détachent de ces masses, et surnagent en charriant à leur surface non-seulement de la boue fine et du sable, mais de grosses pierres. Ces fragments de roches, comme je l'ai appris du Docteur Otto Torell, qui a examiné plusieurs de ces bancs échoués, sont souvent polis et sillonnés sur un ou plusieurs côtés ; lorsque la glace fond, ils tombent au fond de la mer et y déposent de grandes quantités de boue, qui forment à la longue un lit de vase habité par de nombreux mollusques.

Les côtes occupées par les colonies Danoises qui comprennent une étendue de 77,664 kilomètres carrés, renferment des îles, des péninsules et quelques fiords de 80 à 160 mètres de longueur, au bas desquels passent les glaces, tantôt flottantes, tantôt rasant le fond, comme nous l'avons déjà dit. Rink compta le long des côtes vingt-deux grands courants de glace qui indiquent la position d'autant de vallées ou de vallons cachés, dont la surface s'élève à niveau par la neige qui s'accumule annuellement dans leur intérieur. C'est de ces points que naîtraient des rivières ou que des

glaciers se détacheraient, si, dans l'avenir, le climat devenait plus doux. Bien que la direction de ces courants de glace du Groënland dût être en général analogue à celle des glaciers séparés, s'il n'y avait pas plus de glace dans ce pays qu'il n'en existe aujourd'hui sur les Alpes de la Suisse, il est cependant probable que la surface des roches pour un continent revêtu de glace, présenterait, dans les détails de ses stries, un aspect bien différent de celui des roches impressionnées qui appartiennent à une région de glaciers séparés. En effet, dans ces vastes couches de glace continue, il se produit à la surface un mouvement général, partant des régions plus élevées et plus centrales vers la circonférence et les parties inférieures du pays, et ce mouvement s'opère, jusqu'à un certain point, indépendamment des faibles inégalités entre les collines et les vallées, lorsque la neige a donné un même niveau à tous ces accidents de terrain. La glace mouvante peut quelquefois croiser, même à angles droits, des ravins étroits et profonds ainsi que des crêtes de montagnes enfouies sur lesquelles on est tout étonné de découvrir plus tard, après la fonte de la glace et de la neige, des roches striées et sillonnées par l'action glaciaire.

Rink nous rapporte que, dans le Groënland septentrional, des sources volumineuses d'eau, tenant en suspension de l'argile, s'échappent en hiver de dessous la glace et descendent vers les côtes, où cette glace, comme nous l'avons déjà dit, a souvent une épaisseur de 600 mètres ; ce fait démontre combien est puissante et continue l'action de frottement sur la surface des roches sous-jacentes. Nous savons également, du docteur Torell, qu'il existe sur les côtes de vastes étendues, dépourvues aujourd'hui de glaciers ou de neiges permanentes, qui montrent à leur surface des signes incontestables de l'ancienne action de la glace; ce qui fait supposer que le pouvoir de la glace dans le Groënland, pour si grand qu'il soit aujourd'hui, doit s'être exercé autrefois sur une bien plus grande échelle. Le continent, quoique aujourd'hui fort élevé, doit avoir eu sans doute anciennement une

hauteur beaucoup plus considérable. Cette opinion est même plus qu'une simple probabilité, car, depuis que les Danois connaissent le pays, c'est-à-dire depuis les quatre derniers siècles, toute la côte, comprise entre les 60° et 70° de latitude nord, a baissé à raison de plusieurs décimètres dans un siècle, de telle sorte qu'une surface rocheuse, parfaitement polie et sillonnée par la glace, se trouve maintenant dans la mer, et recouverte, à la suite de la fonte des bancs de glace, par un limon impalpable et par des pierres lisses et sillonnées.

Les effets qui se continuent actuellement dans le Groënland septentrional sur les côtes aussi bien que dans le lit de la mer qui les baigne, sous l'influence de la glace, glaciers ou bancs flottants, combinée avec le mouvement vertical du continent et du lit de l'Océan, qui, maintenant abaissé, peut se changer dans l'avenir en un terrain d'exhaussement, sont autant de faits, dont l'observation nous donne la clef des classes nombreuses et distinctes de ces phénomènes glaciaires que l'on regardait autrefois comme très-énigmatiques.

Dans sa relation qui remonte à l'année 1822, Scoresby signale des bancs de glace flottants qu'il avait vus le long des rivages des mers arctiques, latitudes de 60° et 70° nord; ils s'élevaient au-dessus de la surface de 30 à 60 mètres, et quelques-uns mesuraient plus d'un kilomètre en circonférence. La plupart étaient chargés de couches de terre et de roches d'une épaisseur à faire supposer que leur poids était de 50,000 à 100,000 tonnes. On sait qu'un transport analogue de roches s'effectue dans l'hémisphère sud, où les formations de transport enfermées dans la glace sont beaucoup plus fréquentes que dans le nord. En 1839, on a rencontré, au milieu de l'Océan, dans les régions antarctiques, à plusieurs centaines de kilomètres de toute terre connue, un de ces bancs de glace, se dirigeant vers le nord, avec un énorme bloc erratique enchâssé dans sa masse. Pour bien comprendre de quelle manière des sillons longs et

droits peuvent être taillés par cette action glaciaire, il faut se souvenir que ces îles flottantes sont douées d'une remarquable égalité de mouvement, due à l'enfoncement profond dans l'eau de la partie la plus volumineuse de leur masse, de sorte que l'impulsion qui leur est donnée par les vents ou les vagues, même dans les plus violentes tempêtes, n'est pas visiblement appréciable. Certaines personnes ont supposé que les proportions colossales, attribuées à ces bancs de glace par des navigateurs ignorants, étaient exagérées; l'opinion générale semblerait donner aujourd'hui dans un excès contraire, en estimant ces dimensions plutôt en deçà qu'au delà de la vérité. La plupart de ces bancs, mesurés avec soin par les officiers de l'expédition scientifique de l'*Astrolabe*, avaient de 30 à 70 mètres de hauteur au-dessus de l'eau, et de 3 à 8 kilomètres d'étendue. Le Capitaine d'Urville affirme avoir vu, dans l'Océan méridional, une de ces îles flottantes, qui avait 21 kilomètres de long et 30 mètres de hauteur, avec des parois parfaitement perpendiculaires. La partie submergée de ces îles, en raison du poids de la glace comparé à celui de l'eau, doit être six ou huit fois plus considérable que la partie visible, de telle sorte que, lorsque ces masses sont mises une bonne fois en mouvement, la force mécanique qu'elles peuvent exercer contre tout obstacle s'opposant à leur marche, doit être prodigieuse (1). On suppose qu'une proportion considérable de ces masses de glace flottantes ne provient pas des glaciers terrestres, mais qu'elle a été formée au pied des falaises, par l'amoncellement, sur la surface glacée de la mer, de neiges venant de l'intérieur des terres, — la neige se changeant en glace, après avoir subi des fontes et des congélations répétées. Pourtant, la plupart des bancs de l'Océan méridional sont formés de la même manière que les bancs principaux de la Baie de Baffin, car le Docteur Hoofer m'a informé que la glace du Continent Antarctique, ou Terre

(1) T. L. Hayes, *Boston Journ. Nat. Hist.*, 1844.

Victoria, est couverte, comme celle du Groënland, de fragments de roches. On voit toujours, en effet, dans cette contrée, des précipices nus et des pics faisant saillie au-dessus de la grande plaine de neige, ce qui explique la formation de moraines qui, charriées vers la côte, flottent ensuite vers le nord sur des bancs de glace détachés à de grandes distances.

L'étude des régions arctiques et antarctiques nous apprend qu'une grande étendue de terre, bien que couverte toute l'année par la neige et la glace, depuis les sommets des montagnes les plus élevées jusqu'aux rivages de la mer, peut envoyer néanmoins des erratiques anguleux à l'océan. On doit en conclure, qu'une pareille surface deviendra, dans la suite des siècles, presque partout sillonnée et polie comme les roches sous-jacentes d'un glacier. Le déchargement de la glace dans la mer voisine s'opérera surtout par les vallées principales, bien que ces vallées soient cachées à notre vue. Les blocs erratiques et la matière à moraines seront dispersés d'une façon un peu irrégulière après être parvenus à la mer, car la distribution du drift dépendra non-seulement de l'action des vents et des courants marins, mais encore de la forme de la surface submergée; de plus, la glace flottante, chargée de pierres, passera librement dans les eaux profondes, et touchera dans sa course les parties du lit à récifs et à hauts-fonds. On a vu, dans la Baie de Baffin, des bancs de glace échoués sur un fond de 300 à 450 mètres de profondeur. Dans ce lit de la mer, certaines parties pourront se couvrir, dans la suite des temps, d'une couche épaisse de matière transportée, tandis que d'autres plus profondes resteront libres à côté. Si le pays est légèrement incliné, comme dans le Groënland occidental, le fond de l'océan, dans une grande étendue, consistera en roches polies et striées par l'action des glaciers terrestres, et qui auront été recouvertes ultérieurement par la boue et les matières de transport détachées des bancs de glace fondus. On remarquera également, dans le lit de la mer, d'autres larges surfaces impressionnées par les frottements répétés des masses flottantes de glace, quelques-unes

de plusieurs kilomètres de diamètre, qui, lorsqu'elles échouent sur un récif à pente douce, doivent racler le fond sur une certaine étendue avant d'être arrêtées dans leur marche. La plasticité de la glace, ou la propriété dont elle jouit, expliquée par une théorie quelconque, de prendre subitement de nouvelles formes sous l'influence d'une haute pression, est si remarquable, que, lorsque des masses énormes de cette glace flottante arrivent avec un mouvement de 3 kilomètres ou plus à l'heure, sur la paroi inclinée d'une roche, elles doivent se mouler sur sa surface, et être souvent projetées avec violence dans les cavités que présente un fond inégal. On conçoit qu'avant que ce volume énorme de matière soit maîtrisé, la glace, douée d'une mobilité plus grande, comparativement à la marche insensible d'un glacier, doit largement triturer la roche. Et c'est ce qui arrive, en effet, parce que les bancs de glace les plus considérables, en raison de leur inégalité de fusion au-dessus ou au-dessous de l'eau, sont sans cesse chavirant, par suite du déplacement de leur centre de gravité, et que les moraines superficielles, souvent enchâssées solidement dans la glace, se trouvent, dans ces changements, former la base de la masse glacée, et remplacer le sable et les pierres dans le polissage et le sillonnement du lit de l'océan. Les stries et les sillons sous-marins peuvent avoir des lignes aussi uniformes et aussi parallèles que celles qui sont produites par les glaciers sur la surface des vallées du continent; car dans les mêmes régions, les îles flottantes de glace, charriées par les mêmes vents et les mêmes courants dans une direction identique, suivront annuellement la même route aux saisons correspondantes de l'année. Leurs dimensions énormes doivent aussi servir à donner de l'uniformité aux sillons qu'elles creusent, sur un espace de plusieurs kilomètres d'étendue. Imaginons, en effet, que des monuments comme Saint-Paul ou Saint-Pierre soient submergés, et qu'un banc de glace, de plusieurs kilomètres de diamètre et de 600 mètres de hauteur, vienne à les rencontrer, avec une vitesse de 2 ou 3 kilomètres à l'heure; il

est évident que ces monuments seront renversés aussi facilement que le furent les murs de pierre des chalets rustiques, au commencement de ce siècle, par le glacier du Görner, au-dessus de Zermatt. On présume bien que toute surface submergée qui aura été convertie en terre ferme par l'exhaussement, après avoir été traversée par des glaces flottantes et parfois traînantes, présentera des traces caractéristiques de l'action primitive des glaciers. Les pointes aiguës des rochers auront disparu, elles auront été usées et n'offriront plus que des masses en forme de dôme, tandis que les surfaces rocheuses présenteront de toutes parts des stries et de longs sillons. Il sera rare de ne pas y trouver de la matière non stratifiée ou till, difficile à distinguer des moraines ordinaires.

Ceux qui ont eu occasion d'observer, dans la mer qui baigne la côte du Labrador, des amas de glace échoués pendant leur course dans des eaux d'une profondeur de plusieurs centaines de mètres, parlent dans leurs descriptions d'étendues de mers tranquilles comme des lacs, et exemptes de toute cette agitation caractéristique des vagues de l'Atlantique. Ces nappes d'eaux tranquilles sont enfermées dans un cercle de bancs de glace de 30 à 90 mètres de hauteur, qui présentent fréquemment, à leur surface ou dans leur intérieur, des matériaux constitutifs des moraines. Ces sortes de masses de glace peuvent rester échouées des semaines ou des mois, avant d'être réduites par la fonte à une grosseur qui leur permette de flotter et de reprendre leur course vagabonde. Le limon, le sable et les formations de transport qu'elles laissent tomber dans l'eau calme, doit être exactement identique aux moraines des glaciers terrestres, dépourvus de stratification et de restes organiques. Parfois cependant les vagues et les courants, agissant sur la partie découverte de ces bancs immobiles, détachent des matières terreuses et pierreuses qui, s'assortissant suivant leur poids et leur grosseur avant de tomber au fond, présentent alors une disposition stratifiée.

J'ai déjà parlé (p. 234) de la grande quantité de glace, contenant de gros blocs de pierre, que l'on voit quelquefois flotter loin des côtes dans les mers méridionales ou antarctiques. Il est évident que cette espèce de drift glaciaire, quel que soit l'endroit du lit de l'Océan qu'il vienne à toucher, n'aura aucun rapport avec la forme extérieure, ou la composition intérieure des roches sur lesquelles il sera tombé. Il suit de là, qu'après l'émersion de ces étendues sous-marines, les détritus de la surface n'auront nécessairement aucune relation avec les collines, les vallées et les plaines de rivière sur lesquelles ils seront répandus. Plus d'un cours d'eau peut intervenir entre le point de départ et le point d'arrêt des erratiques ou des galets, et le seul moyen de reconnaître la région d'où ils sont partis, consistera en une comparaison attentive des fossiles ou des minéraux qu'ils contiennent avec ceux des roches mères.

On verra dans le chapitre suivant que, dans plusieurs parties de l'Écosse, de la Scandinavie et d'autres contrées, le till et les formations de transport ont des rapports si intimes, au point de vue des caractères minéralogique et lithologique, avec la structure des collines et des vallées qui appartiennent aux bassins hydrographiques sur lesquels ils sont répandus, qu'ils doivent avoir été produits par des glaciers terrestres, bien que, dans les mêmes régions, on rencontre des drifts d'origine sous-marine.

CHAPITRE XII

SUITE DE LA PÉRIODE POST-PLIOCÈNE. — FIN DE L'ÉPOQUE GLACIAIRE.

Action glaciaire dans la Scandinavie, la Russie et l'Écosse. — Coquilles marines dans le drift glaciaire d'Écosse. — Leur caractère arctique. — Rareté des restes organiques dans les dépôts glaciaires. — Couches contournées dans les formations de transport. — Action glaciaire dans les Galles, en Angleterre et en Irlande. — Coquilles marines du Moel Tryfaen. — Formation de transport de Norfolk. — Formations glaciaires de l'Amérique septentrionale. — Plusieurs espèces de testacés et de quadrupèdes ont survécu au froid glaciaire. — Rapports entre la prédominance des lacs et l'action glaciaire. — Lacs morainiques. — Objections à l'hypothèse de l'érosion par la glace des larges bassins des lacs. — Transformation en lacs des vallées de dénudation par des mouvements d'abaissement et d'exhaussement. — L'action de la glace prévient l'envasement des bassins des lacs. — Comment le lit d'une mer abondante en bancs de glace peut, en se soulevant, former des bassins de lacs. — Causes générales des changements de climat. — Froid des Alpes dû à la submersion du Sahara, dans la période Post-pliocène. — Météorites dans les formations de transport.

Après avoir décrit dans le chapitre précédent les traces que la glace des continents, les glaciers et les bancs de glace ont laissées sur la surface des roches, je passerai à la description de quelques monuments géologiques de l'action glaciaire de date plus ancienne, ou de la période Post-pliocène, qui ont été observés en Europe, et dans l'Amérique du Nord.

Scandinavie et Russie. — Dans les vastes régions de la Norwége et de la Suède, où il n'y a jamais eu de glaciers dans les temps historiques, l'action glaciaire a laissé des monuments qui s'élèvent à une hauteur de 1800 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ils consistent principalement en roches à surfaces sillonnées et polies, en moraines et en blocs erratiques. La position des erratiques et la direction des sillons sur ces roches, sont ordinairement

conformes au cours des vallées principales, mais, dans certains cas, les lignes rayonnent quelquefois vers tous les côtés de l'horizon, en ayant pour centre le point le plus élevé de la région. On ne peut expliquer cette dernière disposition qu'en supposant une enveloppe générale de glace continentale, comme celle du Groënland, dont nous avons parlé dans le dernier chapitre. La plupart des blocs venus de loin ont été transportés des parties centrales de la Scandinavie vers les régions polaires ; quelques-uns vers le sud du Danemark ; d'autres vers le sud-ouest, à la côte du Norfolk, en Angleterre ; et certains vers le sud-est, en Allemagne, en Pologne et en Russie. On trouve également, dans ces mêmes contrées, de petites pierres, et de la matière très-fine qui ont été évidemment apportées par la glace flottante. Les limites sud et sud-est de cette formation de transport ont été parfaitement marquées par Sir Roderick I. Murchison, et ses compagnons d'études, M. de Verneuil et le Comte Keyserling, sur une carte qui résume leur grand travail sur la géologie de la Russie ; et ces savants font très-bien remarquer que *ce drift a avancé, excentriquement, d'un point central de la région commune.*

Il résulte de leurs observations que les blocs, répandus sur de vastes surfaces en Russie et en Pologne, se rapportent exactement, quant à leurs caractères minéralogiques, aux roches des montagnes de la Laponie et de la Finlande, tandis que les masses de gneiss, de syénite, de porphyre et de trapp, disséminées sur les contrées basses et sablonneuses de la Poméranie, du Holstein et du Danemark, ont une composition identique avec les roches des montagnes de la Norwége et de la Suède.

On reconnaît, comme règle générale en Russie, que les blocs plus petits sont à de plus grandes distances du point de départ que les plus gros ; ils sont quelquefois distants de 1300 et même de 1600 kilomètres des roches mères les plus rapprochées, et ont suivi la direction du N.-O. au S.-E.

ou des montagnes de la Scandinavie aux mers et aux basses terres du S.-E. Sur plusieurs points, la formation de transport se trouve superposée à des couches qui contiennent des coquilles récentes, ce qui prouve que cette accumulation a eu lieu, en partie pendant la période Post-pliocène. Ainsi, dans la Russie d'Europe, Sir R. Murchisson et ses collègues ont constaté, en 1840, que le pays qui s'étend entre Saint-Pétersbourg et Archangel se compose, sur une longueur de 900 kilomètres, de couches horizontales, pleines de coquilles semblables à celles qui habitent actuellement la mer Arctique, et qu'au-dessus, repose la formation de transport contenant d'énormes erratiques.

En Suède, dans le voisinage immédiat d'Upsala, j'ai observé, en 1834, un monticule allongé de sable stratifié et de gravier, traversé en son milieu par une bande de marne, évidemment formée au fond de la Baltique, ainsi que le prouvent les pétoncles et les coquilles marines d'espèces vivantes qu'on y rencontre mêlées à quelques testacés propres aux eaux douces. Les coquilles marines sont toutes de minime taille, comme celles qui habitent actuellement les eaux saumâtres de la Baltique ; la marne, qui en contient des myriades, est élevée aujourd'hui à plus de 30 mètres au-dessus du niveau du Golfe de Bothnie. Sur le sommet du monticule, reposent plusieurs énormes erratiques de gneiss, qui, pour la plupart, ne sont pas arrondis ; ces blocs, de 2 à 4 mètres de diamètre, ont dû être amenés dans leur position actuelle, à une époque où le golfe voisin était déjà caractérisé par sa faune particulière (1). Ici, par conséquent, on a la preuve que le transport des erratiques s'est accompli, non-seulement lorsque la mer était déjà habitée par les testacés existants aujourd'hui, mais encore lorsque le nord de l'Europe avait déjà pris son remarquable aspect géographique qui lui vient de la séparation de la Baltique de la mer du Nord, et par suite de laquelle les eaux du golfe de Bothnie devin-

(1) Voyez le Mémoire de l'auteur, *Philos. Trans.*, 1835, p. 15.

rent trois fois moins salées que celles de l'océan. Dans le Danemark aussi, on a trouvé des coquilles récentes au sein de lits stratifiés étroitement liés à l'argile de transport.

Nous avons vu qu'en Russie les erratiques diminuaient généralement de grosseur à mesure qu'ils s'éloignaient de leur point de départ. La même observation s'applique au transport Scandinave, lorsqu'on le suit vers le midi, depuis le sud de la Norwége et de la Suède, à travers le Danemark et la Westphalie. Ce phénomène est en parfaite harmonie avec la théorie qui admet des îles de glace flottant dans une mer de profondeur variable ; plus les erratiques sont volumineux, plus ils ont besoin, pour être transportés, de glaces flottantes de grandes dimensions ; et n'y eût-il même aucune pierre enchâssée dans la glace, plus des sept huitièmes et souvent des neuf dixièmes de cette masse sont sous l'eau. Or, plus le volume d'une glace flottante est considérable, plus promptement elle s'arrête sur les points les moins profonds de la mer, tandis que les glaces plus petites et plus légères, chargées de limon et de gravier plus fins, passent librement sur les mêmes bancs, et se portent à de plus grandes distances. Sur les points où, durant de longues périodes de siècles, des blocs auront été charriés vers le sud par l'impulsion des glaces côtières, ces blocs, souvent échoués, puis remis à flot dans la direction d'un puissant courant, présenteront un volume d'autant moins considérable qu'on les rencontrera sur des lieux plus éloignés de leur point de départ. Cela tient, d'abord aux mouvements incessants de va-et-vient qu'ils ont subis au milieu des vagues, puis à cette circonstance que les blocs les plus considérables sont rarement exempts de joints ou plans divisionnaires facilement séparables ; ces joints permettent à une portion de la masse de se détacher du reste toutes les fois qu'un bloc, rendu plus léger par la formation d'une couche de glace à sa surface, se met en route pour un nouveau voyage. L'examen que j'ai fait, en 1852, aux États-

Unis, de plusieurs traînées d'énormes erratiques, à la latitude de 42° 50′ nord, dans le Berkshire, sur les confins ouest du Massachusetts, m'a convaincu que cette dernière cause a eu beaucoup d'influence, tant pour réduire la grosseur des erratiques, que pour rendre la forme anguleuse à des blocs qui se fussent nécessairement arrondis en proportion de leur parcours.

Action glaciaire en Écosse. — Le Professeur Agassiz, après avoir visité l'Écosse en 1840, fut conduit à admettre que les Grampians avaient été couverts d'une couche très-épaisse de glace et avaient autrefois formé un centre indépendant, point de départ de blocs erratiques dans toutes les directions. M. Robert Chambers, en 1848, confirma cette opinion que l'Écosse avait été *surmoulée en glace ;* que cette glace avait aplani, sillonné les roches, et les avait broyées de façon à étendre et à élargir plusieurs vallées. M. T. F. Jamieson, se livrant aux mêmes recherches en 1858, ajouta un grand nombre de faits pour démontrer que les Grampians avaient autrefois fourni des glaciers, partant des régions centrales dans toutes les directions vers la mer. « Les *sillons glaciaires* », observait-il, « rayonnent extérieurement des hauteurs centrales vers tous les points de l'horizon, bien qu'ils ne soient pas toujours strictement conformes à la forme actuelle et au contour des petites vallées et des collines. »

Dans plusieurs parties de l'Écosse et particulièrement dans le bassin du Forth, il existe une espèce de monticule auquel Sir James Hall a donné le nom de *Crag-and-tail* (Crag à queue). Ces monticules isolés et rongés par la glace, ou buttes, offrent des faces polies vers l'est et le nord dans le district en question, avec des pentes abruptes vers l'est et l'ouest, du côté où se trouve la queue ou prolongement. C'est une erreur commune, dit M. Geikie, que de supposer que cette *queue* consiste simplement en détritus, amoncelés sur le *lee side* (côté sous le vent) de chaque monticule, car ce côté est souvent composé, en grande partie, comme celui de l'ouest

ou crag, de roches solides, qui sont ordinairement couvertes d'une formation argileuse (1).

Suivant M. T. F. Jamieson, en explorant l'Écosse sur une plus vaste étendue, on trouve de nombreux exemples de ces *crags* ou escarpements naturels faisant face à l'intérieur du pays, d'où sont descendues probablement des masses de glace continentale, et dans lesquels la *queue*, ou amas de sable et de gravier, occupe le côté tourné vers la mer. On remarquera que ces protubérances abruptes ou masses saillantes de roches sont souvent, en Scandinavie, polies et sillonnées sur le côté qui fait face à la région d'où sont venus les erratiques (ordinairement sur le côté nord en Norwége), tandis que sur l'autre côté ou côté sous le vent (*lee side*), ces traces superficielles font défaut. De plus, il existe, en général, sur ces *lee side* un assemblage de graviers et de matériaux transportés, ou de gros fragments angulaires. Pour expliquer ce fait, il faut supposer qu'à l'époque où il était encore submergé, le côté nord a subi l'action des glaces flottantes, et que, lorsque la terre est venue à s'élever ensuite, il a été exposé à celle des glaces côtières qui roulaient sur le fond ; de telle sorte qu'il y aurait eu, sur ce côté non garanti, une détérioration considérable, tandis que sur le versant opposé ou versant du sud, le gravier et les matières de transport se seraient accumulées pour ne plus changer de place.

Tous ces faits et d'autres, caractéristiques de la formation de transport d'Écosse, ont conduit M. Jamieson aux conclusions suivantes : premièrement, au commencement de la période glaciaire, l'Écosse est plus élevée qu'aujourd'hui, de sorte que la couche générale de neige et de glace dont elle est couverte, en glissant vers les niveaux inférieurs, polit les roches sous-jacentes, enlève de la surface la plus grande partie de l'alluvion primitive et laisse, à la place, du till et du gravier disséminés. Secondement, succession d'une période de dépression et de submersion par-

(1) Drift glaciaire d'Écosse. Glascow, 1863, p. 30.

tielle ; la mer avance et couvre insensiblement la plus grande partie de la contrée ; glaces flottantes en abondance, et dépôt de drift marin avec coquilles arctiques. Troisièmement, la terre émerge de l'eau, atteint un niveau un peu supérieur à celui qu'elle a aujourd'hui, en rapport avec le continent d'Europe ; les glaciers se forment encore une fois sur les points élevés, mais la glace ne dominera plus jamais comme autrefois à la surface (1). Après ces changements, de petites oscillations de niveau s'opèrent à la surface de la terre ; bien qu'ils aient eu des conséquences géographiques très-importantes, comme la séparation de l'Irlande de l'Angleterre, par exemple, et celle de l'Angleterre du continent, nous n'entrerons dans aucuns développements à ce sujet.

Les conclusions générales de M. Geikie, concernant les mouvements principaux du sol en Écosse, sont conformes à celles de M. Jamieson. Il attribue la formation de la grande masse de till, dont l'épaisseur dans les plus basses vallées dépasse 45 mètres, non à l'action des glaces flottantes, mais à celle de la glace terrestre, et cela, d'après sa composition qui consiste en débris de roches, que l'on trouve partout en place dans le même bassin hydrographique. L'absence de coquilles marines dans ces formations s'explique facilement si on rapporte celles-ci à une origine glaciaire. On peut expliquer également la rareté de pierres anguleuses (celles du *till* sont ordinairement arrondies ou peu anguleuses) et la quantité de fragments polis et striés sur un ou plusieurs côtés, en supposant que le *till* a été formé par des matières glissant sous une masse pesante de glace, comme celles du Groënland, au lieu de l'être par des matériaux de moraines superficielles qui auraient été charriés sans trituration sur la surface de la glace. En admettant l'existence d'une seconde période glaciaire, avec ses conséquences ci-dessus énoncées, on peut bien supposer que, lorsque la terre se fut relevée après sa grande submersion, l'action de la glace ait presque

(1) *Quart. Geol. Journ.*, 1860, vol. XVI, p. 270.

effacé, en dernier lieu, toutes les traces du séjour de la mer sur la terre, dans les plus hautes régions où le froid était plus intense ; mais il faut croire aussi que, dans les régions inférieures, des lambeaux de couches marines avec coquilles arctiques ont en même temps échappé à la destruction.

La plus grande hauteur à laquelle on ait encore signalé des coquilles marines dans le drift Écossais, est seulement de 160 mètres au-dessus du niveau de la mer ; à Airdrie, situé à 22 kilomètres S.-E. de Glascow, on en a observé à la même élévation ; elles étaient, dans cet endroit, enveloppées par de l'argile stratifiée, et entre deux couches de *till*. Il est incontestable que le dépôt qui les recouvre est un véritable *till* glaciaire, car on y a observé des amas de granit qui doivent avoir été transportés de 90 kilomètres au moins (1).

Les coquilles que nous représentons ici ne sont que pour le plus petit nombre, étrangères à une vaste collection de co-

FIG. 129. — *Astarte borealis.* FIG. 130. — *Leda oblonga.*

FIG. 131. — *Saxicava rugosa.* 132. — *Pecten islandicus.* 133. — *Natica clausa.* 134. — *Trophon clathratum.*

Coquilles du Nord communes dans le drift de la Clyde, en Écosse.

quilles vivantes, dont l'ensemble témoigne que les mers d'Écosse ont été soumises autrefois à des conditions bien plus arctiques que celles d'aujourd'hui. Depuis l'année 1860, le Rév. Thomas Brown a découvert, sur les bords des estuaires du Forth et de la Ray, dans un drift glaciaire argileux, un groupe de coquilles marines qui indiquent une température beaucoup plus froide encore. Cette argile se rencontre à Élie

(1) Smith, de *Jordan Hill, Geol. quart. Journ.*, vol. VI, p. 387, 1850.

dans le Fife, et à Errol, dans le Perthshire; on y a déjà obtenu 35 coquilles, toutes d'espèces vivantes, habitant aujourd'hui les régions arctiques, et parmi lesquelles on peut citer *Leda truncata, Tellina proxima* (fig. 135-136), *Pecten Grœnlandicus*, *Crenella lævigata*, Gray, *Crenella nigra*, Gray, et

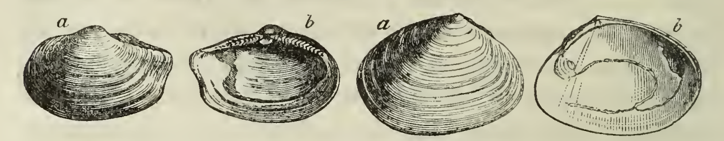


Fig. 135. — *Læda truncata.*
a. Extérieur de la valve gauche.
b. Intérieur de la même valve.

Fig. 136. — *Tellina proxima.*
a. Vue extérieure de la valve gauche.
b. Intérieur de la même valve.

bien d'autres, dont quelques-unes ont été apportées par le Capitaine Sir E. Parry de la côte de Melville, située en Islande, à 76° de latitude nord. Elles ont été toutes identifiées en 1863 par le Docteur Torell, qui revenait justement d'explorer les mers autour du Spitzberg, où il avait recueilli jusqu'à 150 espèces de mollusques, vivant principalement dans un fond de vase fine détachée par suite de la fonte des moraines et des glaciers qui flottaient en cet endroit de la mer. J'appris de ce savant, que la faune fossile de ce dépôt glaciaire d'Écosse fournit non-seulement les espèces, mais encore les variétés particulières des mollusques qui caractérisent actuellement les latitudes élevées. Les grandes dimensions de ces invertébrés indiquent qu'ils ont anciennement joui d'un climat plus froid, mieux approprié à leur organisation que celui qui domine aujourd'hui dans les latitudes où on les rencontre. On a aussi découvert des coquilles marines, dans le drift glaciaire de Caithness et d'Aberdeenshire, à la hauteur de 75 mètres, et dans celui de Banff à celle de 100 mètres; le drift stratifié de prolongement atteint jusqu'à 150 mètres d'élévation. L'Écosse contient, en outre, d'autres dépôts de caractères fort analogues, mais ils sont dépourvus de coquilles et reposent, à des hauteurs de plus de 300 mètres, sur des roches polies et sillonnées par l'action de la

glace. L'absence de coquilles marines dans ces dernières formations a naturellement porté quelques géologues à supposer, que ces coquilles avaient été déposées dans des glaciers de lac; cette opinion peut être fondée, quoique à ce sujet, on soit grandement exposé à tirer des conclusions fausses de preuves négatives, à cause de la rareté des restes organiques dans les dépôts glaciaires, même dans ceux qui sont incontestablement d'origine marine. Quand le gravier et le sable sont de nature poreuse, il est facile de concevoir leur décomposition et leur disparition complète dans le cours d'un millier d'années, mais une grande partie du till Écossais est si imperméable à l'eau, que l'absence des fossiles testacés nous ferait plutôt présumer que ce dépôt a été originellement une moraine de glacier terrestre, et, par conséquent, dépourvu de coquilles dès l'origine.

J'ai autrefois attribué l'absence de toutes traces de vie organique dans la majeure partie de ce drift à la rigueur du froid, et aussi, en certains endroits, à la profondeur de la mer pendant la période extrême d'immersion ; mais les observations modernes ont ébranlé la foi que j'avais en cette hypothèse, car on a observé une étonnante exubérance de vie, tant dans les mers arctiques que dans les mers antarctiques de grande profondeur, où la glace flottante se trouvait en abondance. Ainsi, le Docteur Hooker signalait des crustacés, des mollusques, des serpules et autres invertébrés à 200 et 400 brasses de Victoria Land, entre 71° et 78° de latitude sud, et déclarait avoir trouvé des traces de vie animale même à une profondeur de 550 brasses, tandis que MM. Torell et Chydenius obtenaient, en 1861, des mollusques, entre le Spitzberg et la Norwége, aux profondeurs énormes de 1000 et 1500 brasses, le limon ayant une température de 32 à 33 degrés Fahrenheit (0°,56 centigrades).

On a vu qu'en Écosse, en Suède et ailleurs, les roches polies et striées n'existent pas seulement sur la terre ferme, mais encore sous les eaux de la mer, où les mêmes sillons se continuent, de manière à faire supposer que les glaces con-

tinentales ou glaciers ont autrefois exercé leur action sur une surface actuellement submergée. M. Geikie observe que, sur la côte occidentale d'Écosse, ces traces glaciaires sont presque toujours plus fraîches près et au-dessous du niveau actuel de la mer qu'à des niveaux supérieurs. En certains endroits, les roches impressionnées par la glace, bien que lavées par les vagues de la mer, conservent leurs stries les plus fines, et les protubérances rocheuses leurs surfaces arrondies et lisses, quoique pourtant, à une élévation de 6 mètres et au-dessus, les contours arrondis de ces roches présentent des solutions de continuité, et que toutes leurs surfaces nues soient détériorées par l'action de l'eau. Pour expliquer ces apparences particulières, M. Geikie suppose, en premier lieu, un abaissement de la terre qui a été polie et striée par la glace continentale, de la manière que nous avons décrite page 282, et, en second lieu, un exhaussement, à une date très-récente, de la partie la plus basse de la côte sur une épaisseur de 7 mètres. Cette opinion est confirmée par l'observation d'une plage élevée dans laquelle on a découvert des coquilles récentes, analogues à celles de la mer qui la baigne, et qui indiquent un climat moins glacial que celui d'une plage plus ancienne trouvée à un niveau supérieur, environ à 12 mètres au-dessus de la marque des eaux hautes. La plage supérieure a beaucoup plus souffert de l'action atmosphérique que la plage inférieure, et a été évidemment exposée plus longtemps à cette influence.

A ces preuves fournies par des coquilles trouvées à des hauteurs de 150 mètres environ, il faut ajouter la présence de blocs erratiques sur des montagnes, dans certaines parties de l'Écosse, sur les Grampians, par exemple, et sur les collines du Sidlaw et du Pentland, à des hauteurs de 300 à 600 mètres et au-dessus; ces blocs ont une structure minérale si intimement liée à celle de la région où ils se trouvent, qu'ils sembleraient indiquer une période plus ancienne d'immersion et de glaces flottantes. Nous signalerons également, à ce sujet, un autre phénomène curieux que feu

Hugh Miller qualifia de *pavement* strié des formations argileuses de transport. Sur les points où des portions de till ont été enlevées par les mers, sur les rivages du Forth, ou bien dans les tranchées coupées dans l'intérieur par les travaux de chemins de fer, on remarque des formations de transport enfouies dans lesquelles on observe des restes de drift qui portent tous des traces d'érosion et de striage ; ces stries et ces sillons sont parallèles, se montrent invariablement dans tous les entre-croisements du drift, exactement comme si un glacier ou banc de glace eût passé sur leur surface, en la sillonnant, et présentent un aspect analogue à celui que l'on observe si souvent sur les roches solides sous-jacentes à un drift glaciaire. Il est possible, ainsi que le suppose M. Geikie, que ce second sillonnement des formations de transport se rapporte à une seconde époque de drift ou de glace flottante (1).

Roches contournées dans le Drift. — En Écosse, le till est souvent recouvert de gravier stratifié, de sable, d'argile ; ses couches sont horizontales ou contournées sur une épaisseur de plusieurs décimètres. Ces dislocations se trouvent assez fréquemment dans le Forfashire, où je les ai observées, dans une section verticale opérée en 1840 près de la rive gauche du South-Esk, à l'est du pont de Cortachie ; les contournements de ces couches, composées de sable fin et grossier, de gravier et de limon, s'étendent verticalement sur une épaisseur de 7 mètres, ou de *b* à *c*, fig. 137. La stratification horizontale se termine brusquement à une courte distance, comme on peut le voir ci-dessous *f*, *g* : le gravier grossier et le sable qui les recouvre *a*, est horizontal sur certains points, et offre, sur d'autres, des couches entre-croisées qui ne partagent pas les perturbations qu'ont subies les couches *b*, *c*. Le till sous-jacent est mis à découvert sur une profondeur de 6 mètres, et l'on peut conclure des sections faites dans le voisinage, qu'il est beaucoup plus épais

(1) Geikie, *ibid.*, p. 68.

et qu'il repose sur les saillies de couches de vieux grès rouge fortement inclinées, comme le montre la figure.

Certaines fois, j'ai vu des fragments d'argiles stratifiées et de sables, pliés d'une façon analogue, au milieu d'une grande masse de till. M. Trimmer explique ces phénomènes en sup-

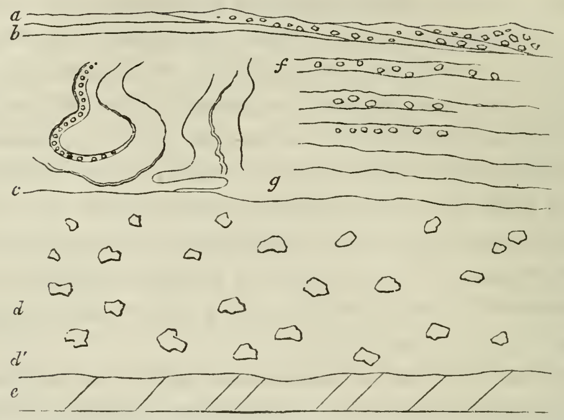


Fig. 137. — Coupe de drift contourné couvrant le till ; vue prise sur la rive gauche du South-Esk, près de Cortachie, en 1840.

Hauteur de la coupe, de *a* à *d*, d'environ 15 mètres.

a. Sable superficiel, avec des lits de gravier grossiers et des couches croisées en certains points. 1m,25.

b, *c*. Lits contournés, d'une hauteur verticale de 7 mètres, sur les côtés desquels on voit, dans la même section prolongée, des couches horizontales de drift stratifié, la plupart avec du gravier grossier et de vastes formations de transport.

c, *d*. Till rouge non stratifié, avec de larges dépôts de granit, de gneiss, de quartz, etc. Épaisseur de 6 mètres. — Le limon rouge provient du vieux grès rouge trituré.

d, *d*. Prolongement du même till. Épaisseur inconnue.

e. Couches inclinées de vieux grès rouge, qui n'ont pas été mises à découvert en cet endroit.

posant que de larges masses irrégulières de neige et de glace se sont intercalées, pendant la période glaciaire, entre les couches de sable et de gravier. Les falaises situées près du détroit de Behring, où l'on trouve des restes d'éléphants, consistent en glace mêlée à du limon et à des pierres, et Middendorf donne la description de masses de glace qu'il a rencontrées en Sibérie à diverses profondeurs, en fouillant le drift. On ignore jusqu'à ce jour comment se produisent ces

interpositions de glace et de matière terreuse, mais on conçoit facilement leur existence en Sibérie, où les rivières coulant du sud au nord, leur dégel commence dans la contrée où elles prennent leur source, tandis que dans les régions basses qu'elles arrosent, leurs lits sont encore obstrués de glace et de neige. Dans les régions arctiques et antarctiques, on voit aussi à la base des falaises élevées, la surface gelée de la mer, servir d'abord de réceptacle à de la boue et à du sable, entraînés par les eaux de la terre, à l'époque du dégel ; puis, au retour du froid, on y remarque des couches épaisses de neige qui ont été arrachées par le vent de dessus la crête des précipices. On a observé dans les latitudes polaires des radeaux de glace, flottants de place en place, et chargés de ces couches alternatives de neige, de terre et de matière pierreuse. Quel que soit le mode d'intercalation de la neige et de la glace avec le drift, que ce soit par stratification ou non, la fonte de la glace entraînera toujours, dans l'intérieur de la masse, un défaut d'équilibre suffisant pour déterminer des flexions et quelquefois des pliages très-compliqués.

Dans un grand nombre de cas, les couches seront inclinées et dérangées par la pression mécanique d'un glacier en marche, ou par le choc contre les bancs de sable, d'une des parois latérales de ces énormes îles de glace qui roulent en donnant sur la côte ; et alors, les couches qui forment les fondements du rivage peuvent avoir subi le choc sans être aucunement dérangées dans leur position. M. Geikie a décrit des exemples de lits de sable et d'argile extrêmement contournés qu'il a observés dans le bassin de la Clyde, et il attribue ces perturbations à la pression énorme que ces couches auraient éprouvée sous un glacier ou masse de glace continentale.

On pourrait également admettre que la pression latérale peut être simplement exercée par le poids d'une lourde masse de matériaux, projetée sur un terrain contigu renfermant des couches flexibles de sable et d'argile. Quand un remblai de chemin de fer est jeté dans un marais ou dans

le lit d'un lac desséché, on observe fréquemment que les fondations, consistant en tourbe et en marne coquillière, ou en sable meuble et limon, fléchissent et s'enfoncent à mesure que les matériaux du remblai s'accumulent. On remarque, en même temps, à une distance de quelques mètres, dans une partie voisine du marécage, un soulèvement des couches flexibles, dont la hauteur dépend du volume et du poids des matériaux entassés pour le remblai. En 1852, j'eus occasion de voir un exemple remarquable d'affaissement analogue et de pression latérale, dans un faubourg de Boston (États-Unis), près de South Cove. Dans le but de convertir en terre ferme une partie de l'estuaire submergée à la marée haute, on avait jeté dans cette excavation une charge considérable de pierres et de sable, d'un volume supérieur à 800,000 mètres cubes. Sous ce poids énorme la vase s'était enfoncée de plusieurs mètres. En même temps le fond contigu de l'estuaire, couvert d'une riche végétation marine, visible seulement à la marée basse, s'était insensiblement exhaussé, dans l'espace de quelques mois, de façon à faire une saillie de $1^{m},50$ à 2 mètres au-dessus de la ligne de la marée haute. La masse soulevée se courba en 5 ou 6 plis anticlinaux, et l'on voyait, au-dessous du lit superficiel qui portait les plantes marines, et au-dessus du niveau de la marée haute, une vase remplie de coquilles marines, telles que *Mya arenaria*, *Modiola plicatula*, *Sanguinolaria fusca*, *Nassa obsoleta*, *Natica triseriata,* etc... Dans la plupart de ces couches recourbées les lits de coquilles étaient tout à fait verticaux, la surface soulevée avait 22 mètres de large, et plusieurs centaines de mètres de longueur. Qu'une pareille charge, détachée par la fonte des bancs de glace ou des glaces côtières, vienne à peser sur un fond de mer, composé de sable et de vase, et des dérangements et des contournements semblables pourront en résulter dans les couches flexibles adjacentes, tandis que les couches sous-jacentes de roches, plus solides, échapperont à ces perturba-

tions, et que de nouvelles formations, parfaitement horizontales, pourront plus tard recouvrir leur surface.

Action glaciaire dans le pays de Galles, en Angleterre et en Irlande. — Le Docteur Buckland reconnut, en 1842, que les montagnes de la partie septentrionale des Galles avaient été un point central et indépendant d'où s'étaient dispersés des blocs erratiques; de grands glaciers disparus depuis longtemps ont dû rayonner des hauteurs de Snowdon dans le Carnarvonshire, à travers plusieurs vallées principales, vers tous les points de l'horizon, charriant avec eux de gros fragments de pierre et sillonnant les roches sous-jacentes sur leur passage.

Outre l'existence de ces glaciers terrestres, M. Trimmer avait déjà découvert, en 1831, des traces qui démontrent la submersion d'une grande partie du pays de Galles, pendant la période Post-pliocène. Il avait observé un drift stratifié qui lui avait donné une douzaine d'espèces de coquilles marines, près du sommet du Moel Tryfaen, colline de 425 mètres de hauteur, sur le côté gauche du bras de mer de Menai. Bien que les observations de ce savant aient été plus tard confirmées par E. Forbes, et plus récemment encore par M. Prestwich et le Professeur Ramsay, il existait encore dans certains esprits des doutes sur la nature et l'âge de ces dépôts. Mais toutes les incertitudes à ce sujet ont été enfin dissipées, grâce à une longue et profonde tranchée, que la Compagnie minière Alexandra opéra à travers le drift en 1863, dans le but de découvrir des ardoises. Dans cette coupe, on a mis à découvert, près du Moel Tryfaen, une masse stratifiée de sable et de gravier incohérents, d'une épaisseur de 10 mètres, contenant des coquilles, quelques-unes entières, quelques autres brisées. Pendant l'été de 1863, j'examinai, en compagnie du Rev. W. S. Symonds, la section nouvellement mise à découvert, et nous y obtînmes 20 espèces de coquilles; nous trouvâmes dans les couches inférieures du drift des dépôts larges et épais de roches venues de loin, polies et striées sur plus d'un côté par l'action glaciaire. Au-dessous

de tout le système, on voyait les extrémités nues de couches d'ardoises disposées verticalement, qui présentaient ici, à l'exemple des roches que l'on rencontre dans d'autres parties des Galles, au-dessous du drift, à des hauteurs variables, des marques non équivoques d'une action glaciaire prolongée. M. R. D. Darbishire explora avec beaucoup de soin ce même drift du Moel Tryfaen, et y recueillit 54 espèces de mollusques, plus, trois variétés caractéristiques des régions arctiques, — en tout 57 espèces. Ces coquilles appartiennent toutes aux espèces qui vivent de nos jours dans les mers d'Angleterre ou des régions plus septentrionales; onze d'entre elles sont exclusivement arctiques, quatre sont communes aux mers arctiques et d'Angleterre, et les autres, pour la majeure partie, habitent les contrées du Nord, ou si, par cas, on les trouve dans les mers méridionales de l'Angleterre, c'est comparativement en moins grande abondance.

L'ensemble du dépôt a tout à fait l'apparence d'une accumulation de matières dans une eau peu profonde ou sur un banc, et c'est probablement pendant l'affaissement graduel de la côte qu'il a acquis son épaisseur. Cette dernière hypothèse nous force d'assigner à ces formations une très-haute antiquité, vu l'espace de temps qu'ont dû exiger leur affaissement et leur rehaussement successifs. Les lits coquilliers mêlés de sable et de gravier sont d'une nature si poreuse, qu'on est naturellement surpris de voir qu'ils ont échappé à la décomposition. Pour expliquer cette particularité, M. Darbishire suppose qu'un lit d'argile qui les recouvre, sur une épaisseur de 2 décimètres, peut très-bien, imperméable de sa nature, avoir préservé les fossiles de la dissolution qu'aurait pu produire la filtration de l'eau de pluie.

L'élévation à laquelle on rencontre ces coquilles fossiles sur le Moel Tryfaen n'a rien moins que 410 mètres; ce fait a une grande importance quand on considère que l'on peut à peine citer un cas bien authentique en dehors des Galles, soit en Europe, soit dans l'Amérique septentrionale, de

coquilles marines trouvées dans le drift glaciaire à une hauteur moitié moindre que celle que nous venons de signaler.

M. Darwin, après avoir étudié le drift glaciaire du pays de Galles, dont l'origine sous-marine avait été déjà démontrée par M. Trimmer, admet que la terre, après avoir été relevée à sa hauteur actuelle, fut couverte une seconde fois, au moins dans les vallées supérieures, par des glaciers qui purgèrent complétement la surface de tous les détritus laissés par la mer (1).

Le Professeur Ramsay, dans un mémoire sur les glaciers du pays de Galles publié en 1851 (2), émit aussi l'opinion qu'une période de froid intense avait d'abord régné quand la terre était plus élevée qu'aujourd'hui, que le pays avait été ensuite submergé par la mer, et qu'enfin, après son rehaussement, une seconde période glaciaire était survenue. Bien qu'il lui eût été impossible de trouver la trace de coquilles marines dans le drift plus haut que 400 mètres au-dessus du niveau de la mer, il estimait que les eaux devaient s'être élevées, pendant un certain temps de la période glaciaire, à 700 mètres environ. Il ne lui fut pas possible en effet de distinguer les sables et les graviers superficiels du drift qui, sur le Moel Tryfaen, et sur des points plus bas, contient des coquilles d'espèces vivantes.

En l'absence de coquilles on ne saurait, sans doute, admettre comme évidente l'origine marine des drifts les plus élevés, tant est grande la ressemblance qui existe entre le sable ou le gravier d'un banc de mer et celui d'un lit de rivière, quand les restes organiques font défaut. Mais, d'un autre côté, si l'on considère combien sont rares en général les coquilles dans le drift que nous savons être d'origine marine, on ne peut supposer que, dans les bancs coquilliers du Moel Tryfaen, on ait exactement rencontré les limites supérieures des dépôts marins, ou, en d'autres termes, la ligne précise jusqu'où s'est élevée la mer au-dessus de la surface du sol pendant la période glaciaire.

(1) *Philosophical Magazine*, sér. 3, vol. XXI, p. 180.

(2) *Quart. Geol. Journ.*, 1852, vol. VIII, p. 372.

On acquiert chaque jour des preuves que la plus grande partie de l'Angleterre septentrionale, suivant une ligne tracée de l'embouchure de la Tamise jusqu'au Canal de Bristol, a été sous la mer, et a été traversée par des glaces flottantes depuis le commencement de l'époque glaciaire. Parmi les observations récentes, à ce sujet, je citerai la découverte que vient de faire M. J. F. Bateman. Il a trouvé près de Blackpool, à 80 kilomètres de la mer, et à une hauteur de 170 mètres au-dessus de son niveau, un till contenant des pierres anguleuses et arrondies, avec des coquilles marines, telles que les *Turritella communis*, *Purpura lapillus*, *Cardium edule*, et autres, parmi lesquelles le *Trophon clathratum* (*Fusus Bamffius*), qui annoncent un climat froid, bien qu'elles vivent encore dans les mers septentrionales des Iles-Britanniques. Un drift d'un caractère analogue couvre une grande partie de l'Irlande, et quoiqu'on n'y ait découvert des coquilles marines qu'à une hauteur ne dépassant pas 182 mètres, et atteignant le plus ordinairement 152 mètres, on ne saurait douter que cette île n'ait été, dans les temps, comme l'Angleterre et l'Écosse, un archipel traversé par des glaces flottantes. Dans une première période, l'Irlande formait une partie du continent d'Europe, et c'est alors qu'elle a reçu les plantes et les animaux qui l'habitent aujourd'hui. Dans les parties les plus montagneuses de cette contrée, les roches furent aplanies et profondément striées durant cette période, à laquelle succéda un grand affaissement de la terre. Plus tard l'île fut convertie en archipel, la terre s'éleva de nouveau, et une seconde période continentale commença ; après tous ces changements, elle se sépara définitivement de l'Angleterre et du pays de Galles (1).

Drift ou terrain de transport du Norfolk. — Nulle part, en Angleterre, la période de submersion ne saurait être étudiée avec plus de fruit que sur les falaises de la côte du Norfolk, entre Happisburgh et Cromer. Des coupes

(1) Voir *Antiquity of man*, par l'Auteur, chap. XIV.

verticales de 9 à 90 mètres de hauteur, sont mises à nu sur une longueur de 80 kilomètres environ ; la série de leurs formations, en commençant par la partie inférieure, est la suivante : premièrement, la craie avec des couches presque horizontales de silex ; secondement, le Crag de Norwich ou formation marine tertiaire du Nouveau-Pliocène, qui s'étend de Weybourne à Cromer, sur une longueur de 11 kilomètres, et disparaît ensuite en s'amincissant ; troisièmement, le lit forestier, principalement formé de matières végétales, de pommes de pin et de sapin disséminées, et d'autres plantes récentes, avec des os d'éléphants et d'autres mammifères d'espèces vivantes ou éteintes. Dans ces lits forestiers, on voit encore debout des troncs de plusieurs arbres, avec leurs racines plongeant dans un sol ancien. Quatrièmement, une série fluvio-marine, avec d'abondantes couches de lignite, et des coquilles marines et d'eau douce alternant avec des lits de sable et d'argile ; les coquilles sont toutes d'espèces récentes ; cinquièmement, de l'argile bleue très-feuilletée, sans fossiles, supportant des formations argileuses de la période glaciaire, d'une épaisseur de 6 à 24 mètres, avec des erratiques transportés de loin, polis et striés pour la plupart ; sixièmement, le drift contourné ; septièmement, sable et gravier superficiels.

Dans le Crag de Norwich ci-dessus mentionné, et que nous décrirons dans le chapitre XIII, on voit un faible mélange (environ 12 pour 100) de coquilles d'espèces éteintes ; mais dans les formations qui le recouvrent, à partir du lit forestier, les espèces sont identiquement les mêmes que celles qui existent aujourd'hui, et, fait remarquable, tandis que les plantes renfermées dans le lit forestier et dans le lignite, sont semblables à celles de l'Europe actuelle et presque toutes indigènes de la Grande-Bretagne, la faune mammifère contient plusieurs grandes espèces qui n'existent plus depuis longtemps dans aucune partie du globe. Parmi ces dernières, comme le montrent les riches collections de MM. Gunn et King, on ne compte pas moins de

trois espèces d'éléphants, savoir : le mammouth, *E. primigenius ;* l'éléphant observé pour la première fois dans le val d'Arno, *E. meridionalis*, Nesti; et enfin, *E. antiquus*, celui-ci en proportions moindres que les deux premiers. Ces restes d'animaux sont accompagnés de ceux du *Rhinoceros etruscus* (espèce obtenue pour la première fois dans des couches du même âge près de Florence) de l'*Hippopotamus major*, du cochon commun, d'une espèce de cheval et d'ours, du loup commun, du bison, du grand daim d'Irlande, du renne et d'autres espèces de daims, du castor commun, et en sus d'une plus grande espèce éteinte, du morse, de la licorne de mer, etc. On compte en tout vingt espèces, dont la moitié au plus sont éteintes.

On verra dans le chapitre suivant, que les coquilles de certains dépôts les plus récents du Crag de Norwich démontrent qu'un froid intense a régné dans les mers des Iles-Britanniques, avant la fin de la période du Nouveau-Pliocène. Au reste, quand nous disons que la végétation et les quadrupèdes de la forêt de Cromer sont antérieurs à la période glaciaire, nous voulons faire entendre simplement qu'ils ont précédé l'époque où les Iles-Britanniques ont été généralement submergées par les eaux de la mer glaciale. L'antériorité de la submersion peut être déduite de la superposition, sur les lits forestiers et de lignite, de cette énorme charge de formations argileuses mentionnées ci-dessus, qui contiennent des blocs transportés de loin, quelques-uns d'origine Scandinave et qui sont probablement venus du Nord à l'état flottant, quand la Norwége et la Suède étaient aussi couvertes de glace que le continent du Groënland moderne. D'autres portions du till qui comprennent les épaves des formations crétacées, oolithiques et autres plus anciennes des Iles-Britanniques, doivent avoir été apportées du nord-ouest.

La série fluvio-marine présente la preuve évidente de plusieurs changements alternatifs dans les conditions fluviatiles, marines et terrestres. Outre le lit forestier, par exemple, le Professeur Phillips a observé sur un point élevé,

une touffe de plantes terrestres en position droite, et M. King a trouvé des lits intercalés avec coquilles bivalves, telles que la *Mya truncata*, placées perpendiculairement dans le limon, avec leurs extrémités siphonculées tournées vers la partie supérieure de la couche, de façon à montrer, d'une manière aussi incontestable que les arbres debout avec leurs racines plongeant dans leur sol originel, que ces coquilles ont vécu sur le lieu dans lequel elles sont actuellement enfouies. On a établi que, sur la formation fluvio-marine, reposent des argiles feuilletées sans fossiles, qui sont elles-mêmes recouvertes par des masses considérables de till ou d'argile non stratifiée de 6 à 9 mètres d'épaisseur. On remarque parmi les fragments de roche compris dans ces dépôts, des morceaux de granite, dont les plus gros ont de 1^{m},80 à 2^{m},40 de diamètre, de la syénite, des débris du Crag de Norwich, de l'argile de Londres, de la craie, de l'oolithe, du lias, avec des débris de roches fossilifères, de date plus ancienne.

Les sections des falaises décrites ci-dessus démontrent que dans diverses parties du Norfolk et du Suffolk plusieurs espèces éteintes ou vivantes de mammifères ont existé après l'accumulation du till glaciaire et des formations de transport, aussi bien qu'à une époque antérieure. L'*Elephas primigenius* est un exemple de ces espèces éteintes, et dans plusieurs localités des Iles-Britanniques l'*Elephas antiquus* et l'*Hippopotamus major* se rencontrent dans l'alluvion des vallées de date plus récente que les formations marines d'argile. La plupart des vallées en question ont été creusées dans le drift glaciaire après l'exhaussement de celui-ci du fond de la mer.

A Mundesley, dans les falaises du Norfolk, et à Hoxne, on remarque non-seulement une dénudation analogue, mais les cavités creusées dans le drift, près de Diss, dans le Suffolk, ont été comblées par des couches d'eau douce, dans lesquelles on a découvert des restes d'éléphants (1).

(1) Pour de plus amples renseignements sur les dépôts du Norfolk, voir l'*Antiquité de l'homme*, de Lyell, chap. xii.

L'une de ces formations des falaises du Norfolk, ci-dessus mentionnée comme recouvrant le till, a reçu le nom de drift contourné, tant on y voit fréquemment ses couches de gravier, de sable et d'argile, courbées et repliées sur elles-mêmes, de la même manière que les portions du drift Écossais, qui sont représentées dans la figure 137, p. 252. Dans certains cas, ces contournements s'étendent sur une hauteur de 20 à 24 mètres et enveloppent des masses arrondies et isolées de craie, qui auront pu se détacher de la paroi perpendiculaire du précipice et tomber sur la surface d'une mer glacée ; on peut supposer encore que ces fragments proviennent d'une île de glace qui a été poussée par le vent et par les courants contre une côte escarpée ; un changement de vent aurait chassé de nouveau ce banc flottant, jusqu'au moment où, frottant sur le fond d'une mer suffisamment profonde, il aurait pu déposer sa charge de terre et de pierres sur le point du lit de la mer où sa fonte se serait opérée. Les formations dérangées et contournées reposent souvent sur des couches de sable et d'argile parfaitement horizontales. Dans les endroits où les contournements existent sur une grande échelle, à Sherringham, par exemple, la craie et les dépôts siliceux situés à la base des falaises, conservent leur position horizontale, ce qui prouve évidemment qu'ils n'ont pas le moins du monde participé aux mouvements violents qu'ont eu à supporter le drift stratifié et les blocs énormes de craie, transportés en masses séparées du lieu de leur origine. Nous avons déjà parlé (p. 253) des causes probables auxquelles on doit attribuer ce dérangement partiel qui caractérise d'une façon particulière les couches de la période glaciaire. Les dépôts successifs, directement superposés sur la côte du Norfolk, sembleraient impliquer que la mer du Nouveau-Pliocène a couvert, dans l'origine, une vaste étendue. Dans la suite, le lit de cette mer aurait été converti en terre ferme, qui aurait subi à sa surface des oscillations de nature à en faire d'abord un sol couvert de forêts, puis un estuaire, plus tard une nouvelle terre ferme, et finalement

une mer dans les parties avoisinant l'embouchure d'une rivière, jusqu'à ce qu'enfin l'abaissement de la terre fût devenu assez considérable pour convertir toute l'étendue de la région en une mer profonde, abondante en glaces flottantes, qui, en se fondant, auraient laissé tomber au fond de l'eau, la boue, le sable et le gravier dont elles étaient chargées. Enfin, un drift stratifié d'un dépôt de graviers a été formé par-dessus le till ; à la suite de cette formation, mais seulement après que l'affaissement total eut été de plus de 120 mètres, un mouvement d'élévation commença, et le pays fut rehaussé de telle sorte que la formation terrestre la plus basse, c'est-à-dire le lit forestier, fut ramenée presque à son niveau primitif, et à une hauteur suffisante pour la rendre visible à la marée basse. Les deux mouvements d'abaissement et d'élévation paraissent avoir agi très-graduellement.

FORMATIONS GLACIAIRES DANS L'AMÉRIQUE DU NORD.

Dans l'hémisphère occidental, au Canada et même aux États-Unis, en s'avançant vers le sud jusqu'aux 40e et 38° parallèles de latitude, on observe toutes les particularités qui distinguent la formation de transport en Europe : des fragments de pierres ont voyagé spécialement du nord au sud à de grandes distances; la surface de la roche sous-jacente est aplanie, striée et cannelée ; une boue non stratifiée, ou *till*, contenant des blocs de transport, est associée à des couches de limon, de sable et d'argile ordinairement dépourvues de fossiles ; lorsqu'il y a des coquilles, elles appartiennent à des espèces qui vivent encore dans les mers du nord ; la moitié sont identiques avec celles que nous avons déjà trouvées dans le *drift* d'Europe. La faune de l'époque glaciaire est aussi moins riche en espèces que la faune actuelle de la mer adjacente, soit du golfe de Saint-Laurent, des rivages du Maine, ou de la baie de Massachusetts.

L'extension des erratiques sur le continent Américain pen-

dant la période Post-pliocène, à des latitudes plus basses que celles auxquelles ils parviennent en Europe, concorde bien avec l'inflexion actuelle vers le sud des lignes isothermes, c'est-à-dire des lignes d'égale température en hiver. Il semble qu'autrefois comme aujourd'hui il a dû exister, du côté occidental de l'Atlantique, un climat plus rigoureux et une abondance plus grande de glaces flottantes.

Il nous reste à signaler une dernière analogie dans la distribution des fossiles du terrain de transport en Europe et dans l'Amérique du Nord : comme en Norwége, en Suède et en Écosse, on rencontre au Canada et aux États-Unis les coquilles marines à de très-petites élévations, 30 à 200 mètres au-dessus de la mer, tandis que les blocs erratiques et les surfaces de roches sillonnées et polies atteignent des hauteurs de plusieurs milliers de mètres.

J'ai décrit en 1839 les coquilles fossiles recueillies par le Capitaine Bayfield dans les couches du *drift*, à Beauport près Quebec, à une latitude de 47°, et j'ai conclu de leur examen qu'elles indiquent un climat plus septentrional ; elles se rapportent en grande partie à celles d'Uddevalla en Suède (1). Les lits coquilliers s'élèvent à Beauport et dans le voisinage à une hauteur de 60^{m},90 et même 120 mètres au-dessus de la mer, et l'on rencontre dans quelques-uns de gros blocs de granite qui n'ont point dû être apportés par un courant violent, car les coquilles très-fragiles qui les accompagnent sont presque entières. Ces blocs, disait le Capitaine Bayfield en 1838, semblent avoir été abandonnés par la glace au moment de la fonte, phénomène qui se renouvelle encore chaque année dans le Saint-Laurent (2). J'ai visité cette localité en 1842, et j'ai tracé la coupe suivante (fig. 138), afin de donner une idée de la position générale du *drift* dans le Canada et les États-Unis. Je présume que la vallée entière

(1) *Geol. Trans.*, 2e série, vol. VI, p. 135. — M. Smith, de Jordan Hill, est arrivé à de semblables conclusions sur le climat, d'après les coquilles du drift glaciaire d'Écosse.

(2) *Proceed. of Geol. Soc.*, n° 63, p. 119.

B a été jadis remplie par les couches *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, déposées en cet endroit pendant une période d'abaissement, et que la contrée plus élevée *h* a été postérieurement submergée et

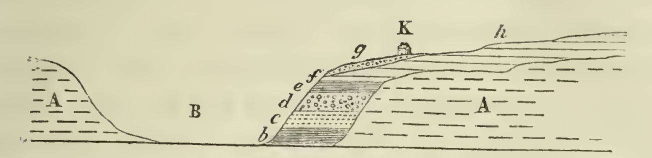


FIG. 138. — K. Maison de M. Ryland. — *h*. Argile et sable des hauteurs, avec *Saxicava*, etc. — *g*. Graviers avec blocs de transport. — *f*. Amas de *Saxicava rugosa*, de $3^m,50$ environ d'épaisseur. — *e*. Sable et limon avec *Mya truncata*, *Scalaria groenlandica*, etc. — *d*. Terrain de transport avec blocs de Syénite, etc. — *c*. Sable jaune. — *b*. Argile feuilletée, de $7^m,50$ environ. — A. Couches Siluriennes inférieures, horizontales. — B. Vallée creusée à nouveau.

recouverte de transport. L'excavation à nouveau et partielle de B a eu lieu après que la région eut repris son niveau actuel au-dessus de la mer. Les vingt-trois espèces de coquilles fossiles que j'ai recueillies dans ces lits de Beauport sont toutes septentrionales et récentes, à l'exception d'une seule, l'*Astarte Laurentiana*, qui est aujourd'hui considérée par de bons conchyliologistes, comme étant une variété de l'*Astarte compressa* des Iles-Britanniques (fig. 139). J'ai examiné plus loin la même formation dans la partie supérieure de la vallée du Saint-Laurent, dans les faubourgs de Montréal;



FIG. 139. — *Astarte compressa*, Flem. = *Astarte Laurentiana*.
a. Extérieur. — *b*. Intérieur de la valve droite. — *c*. Valve gauche.

quelques-uns des lits de limon y sont remplis de *Mytilus edulis*, ou moule commune d'Europe, dont la coquille a conservé ses valves et sa couleur pourpre. Ce dépôt, qui contient la *Saxicava rugosa* et d'autres coquilles marines caractéristiques du drift glaciaire de Suède, se retrouve encore

sur un point élevé de la montagne de Montréal, à 137 mètres au-dessus du niveau de la mer (1).

Dans ma description du Canada et des États-Unis, publiée en 1845, j'ai émis cette opinion que, pour expliquer la position des erratiques et les surfaces polies de certaines roches, ainsi que leurs stries et cannelures, il fallait d'abord admettre un abaissement graduel de la terre dans l'Amérique du Nord, à une époque où cette contrée présentait déjà sa configuration actuelle de montagnes et de vallées, d'escarpements et de ravins, puis ensuite un nouvel exhaussement de la même terre au-dessus de l'Océan. Pour expliquer l'action glaciaire sur toute la surface des roches solides sur lesquelles repose le drift, dans le voisinage des grands lacs, au nord et au sud du Saint-Laurent, il paraissait nécessaire de supposer que cette action de la glace avait eu lieu avant tout dépôt du drift, ou avant le transport des erratiques. La direction générale des sillons du nord au sud, car ils dévient rarement de plus de 10° ou 20° vers l'est ou l'ouest du méridien, paraissait favoriser l'opinion, qu'ils étaient dus pour la plus grande partie au frottement de bancs de glaces, venus des latitudes arctiques. L'absence de montagnes élevées, dans plusieurs régions, dans le district du Niagara, par exemple, et l'extension d'une action glaciaire, tout aussi énergique, jusqu'au 40e parallèle sud, me firent croire naturellement, quelques cas exceptés, que les glaciers terrestres étaient les agents principaux de ces phénomènes. Je supposai, par conséquent, que, pendant la période de lent abaissement, la mer qui bordait le continent était couverte d'îles de glaces flottantes arrivant du nord, et que celles-ci, à mesure qu'elles avançaient le long de la côte et sur les bas-fonds, poussaient devant elles des matières meubles, du sable, des cailloux, qu'elles répandaient sur le fond. Cette action continue faisait disparaître les parties anguleuses ou saillantes, et des fragments de pierre dure

(1) *Travels in North America*, vol. II, p. 141

enchâssés à la face inférieure de la glace creusaient des sillons dans la roche solide sous-jacente ; la rive en pente ainsi que le lit de l'océan, étaient polis et sillonnés par le même mécanisme qui produisait des sillons longs, droits et parallèles comme ceux que l'on voit partout aujourd'hui dans le district du Niagara, et généralement dans toute la contrée nord du 40e parallèle de latitude (1).

L'hypothèse d'un abaissement lent et graduel du sol nous conduit à admettre que l'action, par suite de laquelle la surface des rochers a été polie et striée, doit avoir eu lieu simultanément avec le transport des erratiques. Pendant l'abaissement successif des hautes terres qui s'élevaient primitivement de 300 à 900 mètres au-dessus du niveau de la mer, chaque portion de la surface descendit à son tour au niveau de l'océan, de manière à devenir d'abord une ligne de côte et ensuite un bas-fond ; enfin, après avoir été rayée d'année en année par le frottement des grandes masses de glaces côtières et par celui des glaces flottantes accidentelles, chacune de ces portions a baissé jusqu'à une profondeur de plusieurs centaines de brasses. Par suite de l'abaissement continu de la terre, la côte s'est éloignée de plus en plus des zones de roches polies et striées qui s'étaient successivement formées ; chaque zone extérieure est devenue à son tour assez profonde au-dessous de l'eau pour ne plus être atteinte par les plus grosses glaces flottantes ; ces surfaces abaissées n'ont plus servi que de réceptacle à la boue, au sable, aux blocs tombés par la fonte des glaces, et leur profondeur les a peut-être rendues inhabitables pour les testacés et les zoophytes. Toutefois, pendant que cette masse dépourvue de stratification et de fossiles se déposait au sein des eaux profondes, la production du poli et des stries sur les bas-fonds et les berges dut continuer activement tout le long de la côte. Lorsqu'enfin, l'abaissement vint à cesser, et que le mouvement de la croûte terrestre prit une direction contraire, la

(1) *Travels in North America*, vol. II, chap. XIX, p. 99.

surface couverte de *drift* recommença lentement à s'élever pour passer à l'état de terre ferme. Le dépôt de transport dut, par conséquent, avant l'émersion et pendant un certain temps, être soumis à l'action des vagues, du flux et du reflux ainsi que des courants ; et, dans sa portion supérieure partiellement dénudée, les matières prirent nécessairement de nouvelles positions et se stratifièrent. Sur quelques points aussi, des cours d'eau arrivant des terres ont entraîné sur le *till* des couches de sédiment. Dans ce cas, l'ordre de superposition aura été celui-ci : en premier lieu et comme dépôt supérieur, du sable, du limon et un gravier accidentellement fossilifères ; en second lieu, une masse stratifiée et non fossilifère, appelée *till*, en grande partie plus ancienne que le dépôt précédent, et contenant des erratiques anguleux ou des blocs disséminés çà et là ; en troisième lieu, au-dessous du tout, des roches à surface polie et striée.

Quand on réfléchit à l'immense étendue, sur laquelle la dispersion du drift marin est actuellement en voie de progrès, on s'aperçoit tout d'abord que cette surface doit égaler, si elle ne la dépasse pas de beaucoup, l'espace sur lequel se meuvent les glaciers et les glaces continentales. On eût été donc fortement embarrassé si on n'avait trouvé des preuves de l'action glaciaire sous-marine sur une très-grande échelle, comprenant tous les phénomènes qui caractérisent les roches polies, striées, sillonnées et arrondies à leur surface, et le transport des erratiques et des matières plus fines, alors qu'on rencontre partout, en Europe et dans l'Amérique septentrionale, des preuves nombreuses et évidentes de la conversion de la mer en terre ferme, aussi bien que de la terre ferme en mer, depuis le commencement de l'époque glaciaire.

Bien qu'une grande partie du terrain de transport dans l'Amérique septentrionale soit due, comme en Europe, à des glaces flottantes et à une période de submersion, le nouveau continent possède aussi ses glaciers terrestres et ses centres de dispersion de blocs erratiques. Les White Mountains

(montagnes blanches) du New-Hampshire, 44° lat. N., dont la plus haute a plus de 1,800 mètres, peuvent être citées comme exemple; et feu le Professeur Hitchcock avançait que la plupart des plus hautes collines du Massachusetts avaient autrefois poussé leurs glaciers dans le bas de la contrée. J'ai déjà fait remarquer qu'en Europe plusieurs quadrupèdes de races éteintes ou vivantes, étaient communs à l'époque préglaciaire et post-glaciaire ; on doit supposer, pour la même raison, que, dans l'Amérique septentrionale, la majeure partie de la faune ancienne des mammifères, et de presque tous les invertébrés, a existé à des époques de froid intense.

Qu'aux États-Unis l'apparition du *Mastodon giganteus* ait été postérieure à la période du *drift*, c'est un fait qui ne souffre aucun doute, car on rencontre des squelettes entiers de cet animal dans les marais et les dépôts lacustres qui occupent les cavités de ce terrain. On trouve même quelquefois ces pachydermes éteints au fond de petits étangs que l'agriculteur met à sec pour la recherche de la marne coquillière. J'ai eu l'occasion d'examiner à Geneseo, dans l'État de New-York, un gisement de ce genre ; on avait extrait d'une marnière située au-dessous d'un lit de terre noire et tourbeuse, des ossements, un crâne et une défense de mastodonte ; toutes les coquilles qui accompagnaient ces débris étaient terrestres ou d'eau douce, et analogues à celles qui sont encore communes à l'état vivant dans le même district ; c'étaient plusieurs espèces de *Limnea*, *Planorbis bicarinatus*, *Physa heterostropha*, etc.

En 1845, six squelettes de la même espèce de Mastodonte furent découverts dans le comté de Warren (New-Jersey), à 2 mètres au-dessous de la surface du sol, par un fermier qui exploitait le riche limon d'un petit étang desséché. Cinq de ces squelettes étaient ensemble, et une grande partie de leurs ossements tombaient en morceaux dès qu'on les exposait à l'air ; mais le sixième, enfoui à 3 mètres environ des autres, se trouva conservé presque intégralement ; il avait vingt côtes, comme notre éléphant actuel, ce qui prouve la

justesse des vues de Cuvier relativement à cet animal éteint. De l'argile qui remplissait l'espace compris entre les côtes, juste à l'endroit où l'on devait soupçonner la place de l'estomac, on put extraire jusqu'à 70 litres de matière végétale. Soumise à l'examen microscopique par M. Henfrey de Londres, cette matière lui a paru consister en débris de petits bourgeons d'un conifère de la famille des cyprès, probablement d'un cèdre blanc (*Thuja occidentalis*), propre aujourd'hui à l'Amérique septentrionale, et dont le Mastodonte éteint s'était probablement nourri.

Un autre échantillon du même quadrupède, le plus complet et le plus grand probablement que l'on ait encore trouvé, fut exhumé, en 1845, dans la ville de Newburg (New-York) ; la longueur du squelette était de $7^m,50$, et la hauteur de $3^m,70$. L'ankylose des deux dernières côtes du côté droit fournit au Docteur John C. Warren un bon moyen pour apprécier l'espace qu'avait dû occuper la substance intervertébrale, et il en put ainsi calculer exactement la longueur. Les défenses, au moment où elles furent déterrées, avaient 3 mètres de long ; mais on ne put en conserver qu'une partie. La quantité de matière animale que contiennent les défenses, les dents et les ossements de certains de ces mammifères fossiles est vraiment extraordinaire : d'après les analyses du Docteur Jackson, elle s'élève parfois à 27 pour 100 ; de telle sorte que, quand on a retiré par les acides tous les éléments minéraux, la forme des débris osseux demeure aussi intacte, et la masse de la matière animale aussi solide que dans des os récents soumis au même traitement.

Ces faits ne nous donnent pourtant pas le droit de conclure que ces quadrupèdes ont été enfouis à une époque moderne, à moins que l'on ne prenne ce mot *moderne* dans un sens strictement géologique ; car j'ai fait voir qu'il existe dans la vallée du Niagara un dépôt fluviatile contenant des coquilles des genres *Melania*, *Limnea*, *Planorbis*, *Valvata*, *Cyclas*, *Unio*, *Helix*, etc., toutes espèces récentes d'où l'on a extrait les ossements du grand Mastodonte parfaite-

ment conservés ; et cependant l'excavation totale du ravin, sur une longueur de plusieurs kilomètres au-dessous des Chutes, s'est effectuée lentement depuis que le dépôt fluviatile a été formé.

J'ai pu me tromper en plus ou en moins lorsque j'ai assigné une période de plus de 30,000 ans à la retraite des Chutes à partir de Queenstown jusqu'à leur place actuelle ; mais personne ne saurait douter qu'un nombre considérable de siècles ne se soit écoulé avant qu'ait eu lieu la série de changements géographiques que l'on peut admettre depuis l'enfouissement de ce quadrupède voisin des éléphants. Le gravier d'eau douce où l'on rencontre ses débris est incontestablement d'origine beaucoup plus récente que le *drift* ou argile de transport de ce pays (1).

D'autres animaux éteints accompagnent le *Mastodon giganteus* dans les formations post-glaciaires des États-Unis ; parmi ces animaux on cite le *Castoroïdes ohioensis*, Foster et Wyman, grand rongeur voisin du castor, et le *Capybara* ci-dessus mentionné. Mais on ne sait pas encore si le *loess* et les autres couches marines et d'eau douce des États du Sud, dans lesquelles les squelettes du même Mastodonte sont mêlés avec les ossements du Mégathérium, du Mylodon et du Mégalonyx, datent de la même époque que le *drift*, ou se formèrent postérieurement. Cependant, d'après ce que nous connaissons des fossiles tertiaires d'Europe, — et je pense que la même interprétation peut s'appliquer au nord de l'Amérique, — il est probable que presque toutes les espèces de testacés, sinon toutes, et la plus grande partie de celles des mammifères qui existaient avant l'époque glaciaire, ont survécu à cette époque. Le fait est important, parce qu'il réfute l'hypothèse d'un froid de la période glaciaire tellement intense et universel, qu'il aurait anéanti tous les êtres vivants sur le globe.

Il est incontestable que le froid a été plus rigoureux à une

(1) *Travels in North America*, vol. I, chap. II, et *Principes de géologie*, chap. XIV.

certaine époque qu'il ne l'est actuellement dans certaines parties de la Sibérie, de l'Europe et du nord de l'Amérique; mais, avant d'admettre l'universalité d'un climat plus rigoureux, nous devons chercher quelles furent les conditions des autres parties de l'hémisphère septentrional et celles de l'hémisphère méridional tout entier à l'époque où les erratiques de la Scandinavie, de l'Angleterre et des Alpes furent transportés à leur place actuelle; il ne faut pas oublier qu'un grand dépôt de transport et de blocs erratiques est aujourd'hui en pleine voie de formation dans l'hémisphère méridional, au sein d'une zone correspondant en latitude à la Baltique et à l'Italie du nord, à la Suisse, à la France et à l'Angleterre. Que, par l'effet d'un exhaussement, le lit inégal de l'océan méridional passe à l'état de terre ferme, et la surface des montagnes et des vallées nous apparaîtra parsemée de fragments de transport, les uns descendus du continent antarctique, les autres d'îles couvertes de glaciers, telles que la Géorgie du Sud, lesquelles doivent constituer aujourd'hui des centres de dispersion du *drift*, bien qu'elles soient situées dans une latitude correspondant à celle des montagnes du Cumberland, en Angleterre.

Ces phénomènes ont lieu aujourd'hui entre le 45e et le 60e parallèle de latitude Sud de la ligne, tandis que la zone correspondante en Europe est libre de glace; mais, chose encore plus remarquable, on trouve dans l'hémisphère méridional lui-même, à 1,400 kilomètres seulement de la Géorgie du Sud, là où les neiges perpétuelles arrivent jusqu'à la mer, des terres couvertes de forêts, comme la Terre-de-Feu. La différence de latitude ne saurait expliquer ici la luxuriance de végétation sur un point, et son manque absolu sur un autre, et il faut bien admettre, parmi les autres causes de refroidissement dans la Géorgie du Sud, ces innombrables glaces flottantes qui viennent de la zone antarctique, et abaissent, en fondant, la température des eaux de l'océan, ainsi que celle de l'air environnant qu'elles remplissent d'épais brouillards. Le contraste entre les conditions glaciaires

et le climat dans les zones correspondantes des hémisphères nord et sud, et même dans les latitudes correspondantes du même côté de l'équateur, fait fortement présumer que l'Amérique septentrionale et l'Europe n'ont pas éprouvé simultanément un froid extrême dans la période glaciaire.

Prédominance des lacs concordant avec l'action glaciaire. — On a remarqué, avec raison, que les lacs sont très-communs dans les contrées où abondent les erratiques, les transports et les roches striées, ainsi que d'autres signes de l'action glaciaire, et qu'ils sont comparativement rares dans les régions tropicales et sous-tropicales. Quand je voyageais dans les basses terres de la Suède, loin des montagnes, ou sur la région littorale du Maine dans les États-Unis, et dans d'autres districts de l'Amérique septentrionale, je fus frappé du nombre considérable d'étangs et de petits lacs, faisant la contre-partie de ceux que l'on a décrits comme caractérisant la Finlande, le Canada et le territoire de la Baie d'Hudson. Je n'ai jamais vu de pays présentant une surface analogue à celle de la contrée située à 40° de latitude nord dans l'hémisphère occidental, et à 50° de la même latitude dans l'hémisphère oriental. On reconnaît à première vue que plusieurs de ces nappes d'eau ont des rapports avec la période glaciaire, car elles sont contenues, pour la plupart, par des levées de drift non stratifié, qui doit avoir constitué les moraines terminales et latérales de glaciers, ou bien qui se sera détaché des bancs de glace, par suite de la fonte, et aura été précipitée au fond, lorsque la contrée était encore sous l'eau. On a désigné, sous le nom de *morainique*, cette classe de lacs et d'étangs. Je ne crois pas, avec le Professeur Ramsay, que l'on puisse expliquer de la même manière l'origine de plusieurs de ces dépressions, même peu profondes, qui sont aujourd'hui remplies d'eau, car les barrières qui les enferment sont formées de rochers solides.

On a eu raison de dire que, dans les régions montagneuses, ces cavités aux larges dimensions et contenant de l'eau, se trouvent presque partout dans les vallées produites par éro-

sion, et qu'elles sont, comme ces dernières, étroites en proportion de leur longueur. Si la plupart d'entre elles entrent dans les lignes des failles et des grandes fentes qui traversent les vieilles roches, ne trouve-t-on pas un exemple analogue dans la course longitudinale et transversale des vallées de chaque chaîne de montagnes. D'après les sérieuses observations de M. Jukes, les bassins de lacs ne sont nullement produits par l'élargissement des fentes qui s'entr'ouvriraient à leurs parties supérieures ; et les mineurs qui ont examiné avec soin des fissures dans les entrailles de la terre, dans des roches transportées ou non, ont reconnu qu'elles n'avaient ordinairement qu'une largeur de quelques décimètres, et lorsqu'on peut suivre leur direction verticale jusqu'à plus de 300 mètres, on remarque une uniformité remarquable dans leur largeur. Les vallées et les bassins de lacs ne résultent pas davantage de dépressions produites par l'engloutissement et la disparition dans les abîmes souterrains de masses primitivement situées à la surface de la terre ou immédiatement au-dessous. S'il en eût été ainsi, on ne trouverait pas, comme cela arrive tous les jours, les mêmes couches se continuant d'un bord à l'autre, dans toute l'étendue du lac. Il est évident que les matières qui remplissaient le bassin dans l'origine ont été entraînées peu à peu, de manière à laisser voir aujourd'hui dans le fond les formations plus anciennes. On peut dire de ces masses particulières de roches qui constituent actuellement les côtés des cavités en question, ce que l'on peut affirmer également pour les vallées en général, à savoir : qu'elles n'ont jamais été plus rapprochées les unes des autres qu'elles ne le sont à présent. La cause de la dénudation est donc la seule chose qui reste à établir, il faut examiner s'il convient de l'attribuer à l'action de la glace ou d'une eau courante, d'un glacier ou d'une rivière.

De même qu'au pied de toute cascade l'eau forme un bassin profond et circulaire, de même on a supposé que la glace roulant du haut d'un précipice ou sur une pente escarpée, dont elle entraîne par le frottement le sable et les pierres,

peut, en atteignant le fond, presser de tout son poids sur cette base, désagréger et broyer la roche, de manière à creuser une de ces cavités désignées sous le nom de fondrières. Si l'on admet en théorie ce mode d'opérer, on doit en même temps supposer que la masse, après avoir accompli son travail d'excavation, a perdu toute sa force pour étendre les limites de la cavité, et est devenue complétement incapable de tailler une gorge dans la barrière qui forme le bord inférieur de la fondrière, au point primitivement occupé par le bloc de glace tombé, et d'où sort actuellement de l'eau. Cette opinion d'un affaiblissement dans la force d'érosion, partout où la glace doit gravir une pente ou se mouvoir dans le sens horizontal, semble contraire à celle du Professeur Ramsay, qui attribue à l'action des glaciers la formation de lacs d'une étendue et d'une profondeur considérables. Malgré cela, les partisans de la formation des lacs par l'action glaciaire n'hésitent pas à recourir à la même cause pour expliquer l'origine des plus grands lacs de la Suisse et de l'Italie, au pied des Alpes septentrionales et méridionales, tels que ceux de Genève, de Côme, du lac Majeur, dont l'étendue varie de 30 à 80 kilomètres environ et dont la profondeur est de 150 à 600 mètres et plus.

En considérant ce mode de formation, on sent vivement le manque de données positives, qui serviraient à établir le pouvoir actuel d'un glacier pour creuser des cavités dans une roche sous-jacente. On est souvent assez heureux pour rencontrer des parties de vallées qui ont été abandonnées par un glacier dans les temps historiques, mais il est bien plus rare de trouver des excavations creusées en forme de bassin. Les protubérances en dôme, que nous avons déjà décrites sous le nom de *roches moutonnées*, sont assez fréquentes ; mais les roches de forme contraire, ou cavités en coupe ou écuelle, font généralement défaut. Nous voyons partout des preuves que le glacier peut bien, à l'aide du sable et des galets, ronger, polir et aplanir le fond, mais son action paraît se borner là, quoique les roches fondamentales soient néces-

sairement, dans des endroits différents, d'une dureté fort inégale. C'est également un fait bien connu, que plusieurs glaciers principaux des Alpes présentent, à certains points de leur surface, de nombreuses fentes transversales dans la glace, ou crevasses profondes, d'une largeur de plusieurs décimètres, que les géologues attribuent aux inégalités du sol sous-jacent, sur lequel la masse de glace est poussée. Dans ces cas, bien que la masse continue sa marche et que les crevasses anciennes se ferment, d'autres fentes, exactement de même forme, se reproduisent à la même place, et se renouvellent chaque année, depuis des siècles. On doit en conclure, que même sur les points où la déclivité est très-grande et la force de propulsion énorme, la glace est impuissante à agir comme une scie pour se frayer un passage et surmonter les obstacles qui s'opposent à sa marche en avant.

Quand on cherche à se former une opinion solidement basée sur les rapports entre la fréquence des bassins de lacs et une période glaciaire antérieure, il ne faut pas oublier que ces bassins, grands ou petits, se présentent dans toutes les latitudes, et qu'on y trouve des dépôts lacustres de toutes les phases géologiques, qui attestent l'existence des lacs à des époques où leur formation ne saurait être attribuée par personne à l'action de la glace. Dans le centre de la France, par exemple, il y avait des lacs aux dimensions considérables, pendant les périodes Miocène et Éocène, alors que le climat était sous-tropical, comme le climat précédent de l'époque Crétacée. L'origine des lacs serait, en vérité, une énigme des plus difficiles à résoudre, si l'on n'avait la preuve que les bassins de ces lacs sont aujourd'hui, comme ils ont été dans tous les temps, un trait normal dans la physionomie de la surface terrestre, depuis que nous savons que les mouvements inégaux d'abaissement et d'exhaussement sont actuellement en voie de continuation, et n'ont fait que progresser durant toutes les anciennes périodes géologiques.

Il n'est pas besoin de réfléchir beaucoup sur ce sujet, pour

découvrir, que lorsque de semblables changements de niveau sont en voie de progrès, certaines parties des vallées principales peuvent difficilement ne pas être converties en lacs d'une étendue considérable. Pour échapper à ce résultat, il faudrait admettre que le mouvement élévatoire le plus grand s'opère toujours perpendiculairement à l'axe central de chaque chaîne, ou, chose bien plus étonnante, que l'élévation de chaque nappe d'eau coïncide avec l'exhaussement général. Il peut arriver, sans doute, que cette coïncidence ait lieu par hasard, et dans ce cas l'exhaussement, au lieu de s'opposer au desséchement du sol et de contenir les rivières, ne fera qu'accroître l'écoulement et la chute de l'eau, et contribuera par cela même à faire disparaître les lacs qui existaient auparavant. Quelquefois l'exhaussement sera excessif dans la partie basse de la vallée, d'autres fois (et dans ce cas également formation de bassins de lacs), il y aura exagération d'abaissement dans les régions élevées, parce que la plaine alluviale se sera enfoncée avec une rapidité moins grande, ou sera restée, peut-être, stationnaire.

En discutant, en 1863, dans une première édition de l'*Antiquité de l'homme* (p. 316), l'hypothèse du Professeur Ramsay qui attribue à l'action de la glace le creusement de cavités longues et profondes, comme celles que renferment les lacs Suisses et Italiens, je proposai de substituer à cette opinion de l'action glaciaire la théorie de mouvements inégaux d'élévation et d'abaissement. Je prétendais que la région Alpine a été exposée pendant une série innombrable de siècles à l'action de la pluie et des rivières pendant la période du Vieux Pliocène, sinon, pendant celle du Miocène Supérieur, et j'en concluais que les vallées les plus considérables étaient, dans la plus grande partie de leur largeur et de leur profondeur, d'origine glaciaire. Il me semblait, qu'en n'admettant pas cette hypothèse, on aurait à expliquer un problème bien plus difficile que l'origine des bassins de lacs, à savoir : pourquoi les rivières inactives pendant un million d'années et plus, auraient laissé aux glaciers la

tâche de faire dans des temps comparativement modernes tout le travail d'excavation.

Les Alpes occupent une étendue transversale de 128 à 160 kilomètres. Supposons qu'une dépression centrale ait lieu dans cette chaîne à raison de 1m,50 par siècle, tandis que l'intensité du mouvement diminue graduellement à mesure qu'il approche des limites de la chaîne, et qu'il vient s'éteindre tout à fait dans la région basse environnante. Après une série continue de semblables changements de niveau, il n'y aura pas eu seulement une diminution dans la pente de toutes les rivières, mais la plupart d'entre elles, sur divers points et particulièrement près du pied des montagnes, auront eu leurs lits convertis en lacs. Si nous pouvons démontrer que dans les Galles il s'est opéré un mouvement d'élévation de 420 mètres pendant la période glaciaire, il nous sera permis de supposer des changements plus considérables dans le niveau des Alpes, et d'admettre avec Charpentier que ces montagnes, théâtres de mouvements réitérés d'élévation et d'abaissement depuis les époques géologiques les plus reculées, peuvent, à l'époque d'un froid plus intense, avoir été de 300 mètres plus élevées qu'aujourd'hui. Elles peuvent aussi avoir été abaissées de nouveau avant la fin de l'époque glaciaire, comme je l'ai avancé (*Antiquité de l'homme*, p. 321); et des oscillations d'une telle amplitude peuvent bien avoir été accompagnées de mouvements assez inégaux pour avoir inévitablement transformé certaines parties des vallées préexistantes en réceptacles de gros blocs de glace, destinés plus tard à se changer en eau. On sait que dans le tremblement de terre qui eut lieu en janvier 1855, dans l'île septentrionale de la Nouvelle-Zélande, le sol s'éleva sur les rivages septentrionaux du détroit de Cook, d'une hauteur permanente de 2m,70. Sur un côté de la pointe de Mukomuka, où, immédiatement à l'est, le mouvement ne se fit pas sentir, tandis que de l'autre côté, à l'ouest, l'exhaussement alla en diminuant graduellement de 2m,70 à quelques centimètres, jusqu'à une distance de 37 kilomètres,

où le changement de niveau n'était plus sensible. Pendant que s'opérait cette élévation du sol, un enfoncement de 1^{m},50 s'effectuait simultanément sur la basse côte, au milieu de l'île, dans la partie sud du détroit de Cook. La répétition de semblables mouvements inégaux peut bien, dans un temps géologiquement court, convertir en lacs des portions d'une vallée quelconque. Dans la marche Finnoise (Finmark), on a mesuré avec soin un ancien niveau d'eau sur les bords d'un fiord, et l'on a trouvé que ses bords s'élevaient graduellement en raison de 1^{m},20 par kilomètre sur 48 kilomètres du sud au nord, et qu'ils atteignaient à une extrémité une hauteur de 36^{m},50 ; ce mouvement est de date post-pliocène. Partout où la partie basse d'une vallée ou d'un fiord s'élève ainsi, tandis qu'il y a, en même temps, abaissement extrême dans sa partie haute, le résultat peut être la formation d'un bassin de lac, comme nous l'avons prouvé. En l'absence de glace, la formation d'un lac dépendra des rapports qui existent entre les deux forces, dont l'une produira l'exhaussement ou l'abaissement du sol, et l'autre permettra à la rivière de déposer en plus ou moins grande quantité des matières sédimentaires dans les dépressions nouvelles. Si le mouvement est très-lent, la rivière remplira la cavité naissante de boue, de sable et de galets, aussi vite que cette cavité se forme, et après l'avoir nivelée, coupera la nouvelle digue de pierres en travers du bord inférieur de la surface déprimée ; mais si la capacité du nouveau bassin se creuse avec une grande rapidité, la rivière pourra seulement empiéter sur elle en partie, en formant un delta à son extrémité la plus élevée. Lorsque ces changements s'opèrent pendant une période glaciaire, l'épaisseur de la glace augmente de siècle en siècle, non par suite de l'érosion, mais seulement parce que le contour de la vallée prend de plus en plus et graduellement la forme de bassin. Cependant, la simple occupation des cavités par la glace, en empêchant les dépôts fluviatiles et lacustres, est une cause de l'abondance des lacs, qui prendront

naissance dès que le climat changera et qu'il y aura fonte de la glace.

En Suisse, il existe des formations lacustres de la période Post-pliocène, qui démontrent que le Lac de Zurich, et autres lacs de ce pays, ont été formés avant que la glace eût exercé son action érosive dans la contrée (*Antiquité*, p. 314). En Écosse, il est aussi évident que certaines vallées importantes, par lesquelles les eaux s'écoulent aujourd'hui, sont d'une date antérieure à l'époque glaciaire. Mais quoique la plupart des vallées des Alpes et quelques-uns de leurs lacs soient d'une époque pré-glaciaire, il y a lieu de présumer qu'un grand nombre de ces vallées ont été converties en bassins de lacs pendant la longue suite des siècles durant lesquels la glace dominait. A l'appui de cette opinion, plusieurs excellents observateurs affirment qu'on peut voir, en Suisse et en Italie, en aval de l'écoulement actuel des grands lacs, une ancienne alluvion fluviatile, sur laquelle reposent les moraines de glaciers considérables qui traversèrent autrefois ces lacs. Dans ces anciennes formations alluviales, les galets comprennent toutes les variétés de ces roches qui appartiennent à la partie supérieure de la vallée située au-dessus, ou aux vallées tributaires qui se déploient dans les mêmes régions élevées. Le phénomène que nous signalons serait parfaitement d'accord avec la théorie suivant laquelle les rivières autrefois sans solution de continuité, n'auraient été interceptées par aucuns bassins de lacs propres à être comblés ou traversés par des glaciers. Il n'est pas nécessaire de recourir à l'hypothèse de M. Mortillet, et d'admettre que chaque bassin a été dans l'origine rempli d'alluvion pouvant atteindre quelquefois une épaisseur de 600 mètres, dont il a été plus tard complétement débarrassé par le passage d'un glacier, car un semblable déplacement impliquerait une puissance d'érosion qu'on ne saurait garantir, et qui, si on l'admettait, autoriserait à croire que le glacier du Rhône a pu creuser le bassin du lac de Genève dans la molasse miocène. Le Docteur Falconer, M. Ball et

d'autres auteurs, ont fait remarquer que la forme de plusieurs grands lacs d'Italie, tels que les lacs de Côme, Majeur et de Garde, ne concorde nullement avec l'hypothèse que ces lacs ont été creusés par le passage de glaciers considérables.

Quand on considère le mode d'écoulement de l'eau, on a raison de supposer, par analogie, que la glace doit se mouvoir plus lentement et exercer un frottement moindre sur le fond en proportion de la profondeur de la cavité qu'elle remplit, car si la marche d'un glacier ressemble au cours d'une rivière, c'est-à-dire si les couches supérieures ont plus de vitesse que les inférieures, et si, en outre, la profondeur est de 800 mètres, comme dans le Lac Majeur, il est difficile de concevoir, lorsque la charge la plus considérable de glace vient se déposer presque entièrement sur la partie supérieure de la masse alluviale, que les mouvements imprimés aux couches du fond soient suffisamment énergiques pour permettre à la glace de pénétrer profondément dans les roches sous-jacentes. Une autre objection beaucoup plus sérieuse se présente au sujet de l'origine glaciaire des bassins de lacs, c'est l'absence de ces bassins de première grandeur dans les plaines du Pô, sur des points qui ont été envahis autrefois par des glaciers disparus, les plus considérables qui soient descendus des Alpes, et qui ont laissé leurs moraines gigantesques dans la partie basse de la contrée. Le plus bel exemple que l'on puisse citer de ce fait contradictoire se trouve à Ivrée et au sud de cette ville ; on y observe une moraine dont la partie septentrionale a plus de 450 mètres de hauteur, et qui consiste en limon, pierres, et gros blocs erratiques provenant évidemment des deux sommets les plus élevés des Alpes, le mont Blanc et le mont Rosa. Cette ancienne moraine, au point où elle prend naissance dans les montagnes pour s'étendre de là sur la plaine du Pô, repose sur une couche marine de la période Pliocène, si peu consolidée, que le glacier, eût-il été doué de ce pouvoir d'érosion qu'on lui attribue, aurait dû y creuser une cavité large et profonde.

On peut signaler un autre exemple d'absence de grand lac, dans un endroit où l'on devrait en trouver un, d'après l'hypothèse en question ; c'est dans une région contiguë de la précédente, de l'autre côté de Turin, entre cette ville et Suze, où la moraine de Dora Riparia s'étend sur une surface large et prolongée.

Si, en explorant une chaîne de montagnes dans sa longueur ou dans sa largeur, on observe des bassins de lacs capricieusement distribués, on n'a pas lieu de s'en étonner, tout autant que l'on attribue l'origine de ces bassins à des mouvements souterrains dans la croûte terrestre ; ils peuvent, en effet, avoir une étendue ou une direction qui varient en partie, de façon à n'avoir aucun rapport avec les développements de la vallée. Dans le cas contraire, si on rejette le secours des changements de niveau, pour n'invoquer qu'une action superficielle, comme celle des glaciers, on est alors fort embarrassé pour expliquer comment ces glaciers ont pu creuser une cavité dans une vallée et ne pas produire une forme similaire dans la vallée contiguë.

Nous avons montré que les rivières agissent de deux manières pour empêcher la formation de bassins de lacs : en premier lieu, en travaillant sans cesse à envaser les cavités naissantes et, en second lieu, en creusant leurs lits ou en s'en formant de nouveaux à travers les roches, dont l'exhaussement graduel pourrait s'opposer à l'écoulement régulier des eaux. On ne voit pas dans ces faits la moindre analogie d'action avec le travail qui s'opère au fond de la mer, excepté pourtant dans les parties où des courants marins entraînent des rivages dégradés, ou des rivières, des matières sédimenmenteuses qui se déposent au fond ; à l'exception de ces dépôts sous-marins, chaque abaissement partiel sera la source d'une dépression persistante, propre à devenir un récipient d'eau douce partout où la contrée émergera de l'eau et sera convertie en terre ferme. Quant à ces bassins de lacs, nous ne devons pas être surpris de les voir égaler en étendue ceux des Lacs Érié et Ontario, ou du Lac Supérieur lui-même, vu

le laps de temps géologique qu'a dû exiger le travail de leur formation. Supposons maintenant que la surface submergée ait été continuellement traversée par des bancs de glace, comme dans la Baie de Baffin, et cela pendant des milliers d'années avant d'avoir été transformée en continent ; qu'arrivera-t-il dans ce cas? Nous trouverons non-seulement une infinité de lacs morainiques de grandeurs différentes, mais probablement aussi plusieurs cavités peu profondes en forme d'écuelles, creusées dans la roche en place, sur le fond de la mer ; ces espèces de coupes seront le résultat des chocs répétés contre la roche de blocs énormes de glace, dont les parties inférieures (comme nous l'avons déjà dit, p. 236) se meuvent avec une vitesse qui égale en kilomètres la vitesse évaluée en centimètres des couches supérieures d'un glacier. Les vents et les courants peuvent charrier dans un siècle des centaines de ces bancs de glace vers une même région, et ces masses peuvent exercer des frottements considérables sur le fond de l'océan. Le limon et le sable provenant de l'érosion de la roche, ou de pierres quelconques enchâssées dans la base du banc de glace, ou introduites dans l'intérieur de cette masse par suite de ses chocs violents contre le lit de la mer, se détacheront aussitôt que le banc, se fondant à sa partie supérieure, deviendra plus léger, et reprendra sa position flottante. Dans ce cas, la trituration de la roche formant le fond et le déblayage complet dans les cavités récentes des pierres et des matières terreuses, sont des conditions bien plus favorables que toutes celles qu'on pourrait imaginer pour le cas d'un glacier descendant une vallée.

Causes du changement de climat. — Submersion du Sahara. — En 1830, dans mes *Principes de géologie*, chap. VII et VIII, je me suis efforcé de faire ressortir la corrélation intime qui existe entre le climat et la géographie physique du globe à une époque donnée. Si, par exemple, pendant de certaines périodes du passé, la terre antarctique fut moins élevée et moins étendue qu'aujourd'hui, et si le contraire arriva pour le pôle nord, les conditions

des hémisphères, septentrional et méridional, durent être inverses, quant au climat, de ce qu'elles sont aujourd'hui. Mais s'il y eut simultanément dans les deux régions polaires une surface considérable de continent élevé, ce concours de conditions réfrigérantes dans les deux hémisphères doit avoir occasionné temporairement une intensité de froid qui ne s'est jamais reproduite depuis. Quelques géologues ont objecté que le froid pendant la période glaciaire fut si général au pôle et aux régions tempérées des deux côtés de l'équateur, que les changements purement locaux qui affectèrent la configuration extérieure de notre planète, ne sauraient fournir une cause suffisante pour expliquer une révolution dans la température d'une époque si récente. Plus nous comparons l'état de la surface terrestre dans les périodes pliocène, post-pliocène et récente, plus nous trouvons la preuve d'un mouvement d'exhaussement et d'abaissement, produit sur une telle échelle que l'on reste convaincu que, dans les différentes parties des périodes en question, la carte du monde ne devait pas plus ressembler à nos cartes actuelles, que l'Europe ne ressemble aujourd'hui à l'Amérique ou à l'Afrique. Une étude attentive de la distribution des espèces vivantes d'animaux et de plantes dans les époques tertiaire et récente, nous conduit à des conclusions semblables; elle nous démontre l'étendue des changements importants qu'a dû subir la géographie physique du globe, avec une telle évidence, que la théorie en question ne saurait être le moins du monde ébranlée par le manque d'universalité dans les mouvements de la croûte terrestre.

Les principaux changements que j'ai signalés, dans mes *Principes de géologie*, comme capables de modifier les climats du globe dans la succession des périodes géologiques, sont les suivants : conversion de la mer en terre ferme et réciproquement; accroissement ou diminution de hauteur des chaînes de montagnes et des continents; prédominance de la terre ou de l'eau dans les latitudes hautes ou basses; et, enfin, nouvelle direction imprimée aux courants de l'océan,

tels que le Gulf-Stream. En mentionnant la quantité considérable de chaleur que les vents apportent du grand désert de l'Afrique dans ces parties de l'Europe situées immédiatement au nord de cette partie du monde, je signalerai, sans me l'attribuer, la découverte d'un fait géographique concernant le Sahara, démontré depuis peu par quelques géologues, à savoir : que ce désert doit avoir formé une partie de la mer, lorsque le froid de l'époque glaciaire était à son maximum d'intensité. En 1817, Ritter avait avancé que le désert africain avait été sous l'eau à une époque très-récente, et M. Escher von der Linth émit, en 1852, l'opinion que si cette submersion avait existé véritablement, elle expliquerait comment les glaciers des Alpes atteignaient, pendant la période Post-pliocène, ces dimensions colossales que leur attribuaient de prime abord Venetz et Charpentier, en s'appuyant sur des données géologiques. Depuis, cette proposition a été reprise par des géologues Suisses très-distingués, MM. Laurent et Tristam, et, en 1863, M. Escher lui-même, en compagnie de MM. Desor et Martins, a trouvé des coquilles marines, et spécialement la bucarde commune, *Cardium edule*, disséminées sur une vaste surface du désert, jusque dans les parties reculées, tandis qu'on découvrait également, en forant des puits artésiens, ces coquilles et d'autres d'espèces vivantes, à la profondeur de plusieurs décimètres au-dessous de la surface.

L'espace qu'occupe actuellement le Sahara, au lieu de former une région de sables arides et brûlants, causes de la chaleur ardente et de la sécheresse du vent du sud, ou sirocco, constituait primitivement une vaste plaine marine qui s'étendait sur plusieurs centaines de kilomètres, du nord au sud et de l'est à l'ouest. Le vent du sud doit avoir anciennement absorbé l'humidité de cette immense surface, et s'être un peu plus loin refroidi et saturé de vapeurs aqueuses en passant sur la Méditerranée. Finalement, lorsqu'il atteignit les Alpes en venant s'y briser, il fut poussé dans des régions plus hautes et plus raréfiées de l'atmosphère, et se débar-

rassa de son fardeau humide sous forme de neige; c'est ainsi que le courant aérien, connu sous le nom de Föhn ou Sirocco, dont le souffle sec et brûlant joue de nos jours un rôle important, même au fort de l'hiver, en occasionnant la fonte des neiges et en arrêtant l'accroissement des glaciers, doit avoir été, pendant la période en question, un des principaux pourvoyeurs de glace et de neige pour les Alpes.

MÉTÉORITES DANS LE TERRAIN DE TRANSPORT.

Ma description de la période glaciaire m'ayant conduit à parler assez longuement du drift post-pliocène, je saisis cette occasion pour relater la découverte que l'on a faite d'une pierre météorique, à une grande profondeur de l'alluvion de l'Asie septentrionale.

Dans ses *Archives de Russie* pour 1841 (page 314), Erman donne le récit très-circonstancié de la découverte d'une masse de fer météorique trouvée par un mineur Russe dans l'alluvion aurifère de l'Altaï. On avait d'abord rencontré quelques petits fragments de fer natif dans les lavages de Petropawlowsker, Cercle de Mrassker; mais, bien que cette découverte eût attiré l'attention, on supposait que ces morceaux de fer pouvaient être des débris d'outils. Plus tard, à la profondeur de 9^{m},60, les ouvriers trouvèrent une pièce de fer pesant de 8 à 9 kilogrammes, d'une couleur gris d'acier, un peu plus dure que le fer ordinaire. Cette masse était du fer natif avec une petite proportion de nickel, métal qui se rencontre d'ordinaire dans les pierres météoriques. Elle était enfouie au fond d'un dépôt où le gravier reposait sur un calcaire schisteux. Une grande quantité de minerai brun de fer, ainsi que de l'or, existe dans le même gravier, qui paraît appartenir à cette formation aurifère étendue dans laquelle abondent les os de mammouth, de *Rhinoceros tichorhinus* avec d'autres quadrupèdes éteints, et qu'on hésite encore à placer dans le Post-pliocène ou dans le Nouveau Pliocène.

Il ne faut point nous étonner si nous n'avons pas encore

découvert de traces de ces sortes d'aérolithes dans les roches plus anciennes ; car, outre leur rareté, ceux qui seraient tombés dans la mer (et c'est des couches marines que les géologues ont ordinairement le plus à s'occuper), étant principalement composés de fer natif, auraient subi rapidement de nouvelles combinaisons chimiques au contact du chlorure de sodium et des autres sels dont sont chargées l'eau et la vase. Nous savons que les ancres, les canons et autres pièces de fer ouvragé qui sont restées enfouies pendant quelques centaines d'années le long de nos côtes, en Angleterre, se décomposent pour former, avec le sable et le gravier, un conglomérat cimenté par l'oxyde de fer. Un fer météorique, malgré l'action préservatrice du nickel, se décomposerait incontestablement dans le cours d'un millier d'années, pour devenir oxyde, sulfure ou carbonate de fer, et cesserait bientôt d'être reconnaissable. Plus les roches sont anciennes, plus fréquemment elles ont été chauffées et refroidies, pénétrées par le gaz, les eaux de la mer, l'atmosphère ou les sources minérales, et plus sont faibles les chances d'y rencontrer une masse de fer natif non altéré ; cependant la conservation de l'ancienne météorite de l'Altaï et la présence du nickel dans ces corps curieux, permettent d'espérer qu'on en trouvera désormais un plus grand nombre parmi les dépôts des périodes reculées.

CHAPITRE XIII

CLASSIFICATION DES FORMATIONS TERTIAIRES. — PÉRIODE PLIOCÈNE.

Ordre de succession des formations sédimentaires. — Imperfection de la nomenclature. — Obscurité et défectuosité des monuments augmentant avec leur ancienneté. — Motifs de commencer par l'étude des groupes les plus nouveaux. — Principes généraux de classification des couches tertiaires. — Dispersion en Europe de formations détachées. — Couches de Paris et de Londres. — Groupes plus modernes. — Difficultés particulières qu'offre la détermination chronologique des formations tertiaires. — Accroissement en nombre des espèces vivantes de coquilles dans les couches d'origine deplus en plus moderne. — Explication des mots Eocène, Miocène et Pliocène. — Formations du Nouveau Pliocène. — Ile d'Ischia. — Base orientale du Mont Etna. — Couches du Nouveau Pliocène, d'une étendue et d'une hauteur considérables, en Sicile. — Formations du même âge dans le vallon supérieur de l'Arno. — Crag de Norwich. — Lits de Chillesford, de Bridllington. — Couches du Vieux Pliocène. — Crag rouge de Suffolk. — Crag blanc ou corallin. — Refroidissement successif du climat démontré par les coquilles pliocènes du Suffolk et du Norfolk. — Crag d'Anvers. — Couches subapennines. — Formations Aralo-Caspiennes.

Ayant traité dans ces trois derniers chapitres des formations tertiaires, comprenant le Post-pliocène et le Récent, j'ai maintenant à décrire les couches appelées tertiaires, et les groupes qui en forment les subdivisions.

La figure suivante montrera l'ordre et la superposition des principales couches des dépôts fossilifères énumérés dans le tableau, p. 161, en permettant d'embrasser leur ensemble successif dans une seule section.

Dans la nature, comme on l'a fait remarquer p. 159, on n'a jamais eu l'occasion de les observer toutes réunies dans une seule région ; premièrement parce que le dépôt sédimentaire est limité, pendant une période géologique quelconque, à une étendue restreinte ; et secondement parce que les couches sont sujettes, après leur formation, à être

complétement détruites, sur de vastes étendues, par la dénudation. Mais partout où se présentent certains éléments de la série, on les voit superposés suivant l'ordre indiqué dans la figure, bien qu'ils n'affectent pas toujours une disposition analogue à celle qui est représentée, parce que la plupart des couches reposent accidentellement sur d'autres suivant une stratification discordante. Quand ce mode de superposition, déjà expliqué p. 96, se présente, il est presque invariablement accompagné d'une grande dissemblance dans les espèces des restes organiques que l'on trouve dans les couches disposées côte à côte par ordre de succession, cette discordance impliquant un laps de temps considérable qui se serait écoulé entre les deux formations juxtaposées. Pendant les périodes écoulées, dont aucune trace ne nous a été transmise dans la surface en question, on peut supposer que l'état de la création animale a subi un changement graduel et progressif, et qu'il a fallu un même intervalle de temps pour permettre au mouvement et à la dislocation de la croûte terrestre de porter ces restes organiques à la surface, de telle sorte que les couches précédemment situées dans la région dont il s'agit ont supporté des dérangements notables et ont eu leurs bords exposés à la dénudation aqueuse avant d'être recouvertes par une formation plus récente.

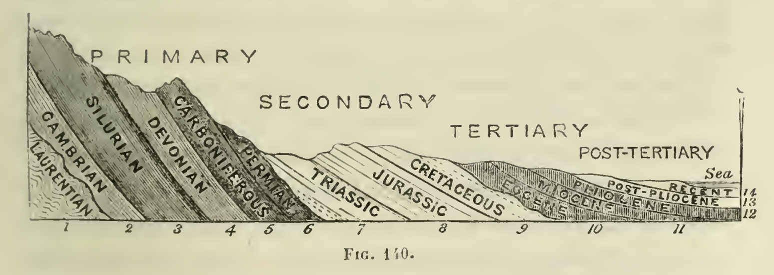


Fig. 140.

On observe des exemples très-fréquents d'une semblable discordance sur les points où se montrent les plus grandes lacunes dans la succession des restes organiques, entre les roches Permiennes ou Triasiques, par exemple, ou bien

entre les formations Crétacées et Éocènes. On en rencontre également dans telle ou telle partie du monde, au point de jonction de presque toutes les autres formations principales; quelquefois les divisions subordonnées d'un élément quelconque des groupes importants sont couchées en discordance sur un autre élément subordonné du même groupe, le Silurien Supérieur, par exemple, sur l'Inférieur, ou la division supérieure du Vieux Grès Rouge sur un membre inférieur du même groupe, et ainsi de suite. Les cas d'irrégularités semblables dans le mode de succession des couches en contact immédiat, deviendront d'autant plus intelligibles que nous étendrons davantage nos explorations dans les formations fossilifères; car nous mettrons continuellement en lumière des dépôts déjà connus, qui nous révéleront une longue série d'événements dont nous n'avions aucune connaissance avant ces découvertes.

Tandis que la disposition discordante témoigne toujours d'un laps de temps qui n'a laissé aucune trace, la disposition concordante de deux couches en contact n'implique nullement que la formation plus récente ait immédiatement succédé à la plus ancienne. On en peut conclure simplement que les roches anciennes n'ont été soumises à aucun de ces mouvements, de nature, comme dans le till, à courber et à interrompre leur continuité, avant la superposition à leur surface d'une formation plus moderne. Cette disposition ne prouve pas non plus que la croûte terrestre soit restée immobile dans la région en question, car il peut y avoir eu un abaissement ou une élévation graduelle, s'étendant uniformément sur une large surface; et pendant la durée de ce mouvement les roches stratifiées peuvent avoir conservé leur position primitive d'horizontalité. Une vaste étendue peut avoir passé de l'état de terre ferme à celui de mer, et pendant ces changements de niveau, l'action de l'eau entraînant lentement quelques-unes de ces couches, il s'en sera superposé de nouvelles, dont la date différera peut-être de mille ans ou de plusieurs siècles, mais qui seront restées en con-

cordance avec le système plus ancien. Enfin, il peut y avoir eu mélange des matériaux constituant les dépôts anciens avec ceux des formations nouvelles, de façon à donner lieu au passage d'une roche à l'autre sous le rapport minéralogique, comme s'il n'y avait eu ni brèche ni interruption dans le mode de formation du dépôt.

Bien que la découverte fréquente de nouveaux systèmes de couches intermédiaires rende de moins en moins brusque le passage d'un type des restes organiques à un autre, les géologues de nos jours considèrent la série entière des monuments géologiques comme bien plus incomplète et bien plus défectueuse qu'elle ne paraissait l'être à ceux qui les ont précédés d'un demi-siècle. Dans les anciennes observations, lorsqu'on rencontrait une interruption dans la suite régulière des formations, on la rapportait théoriquement à une catastrophe soudaine et violente qui avait arrêté le cours régulier des événements dont la succession s'était continuée pendant des siècles, en détruisant en même temps tous les êtres organiques ou à peu près qui existaient dans l'origine ; après quoi, l'ordre rétabli, s'ouvrait une nouvelle série d'événements. A mesure que nous nous éloignons de ces manières de voir, les phénomènes du monde organique et inorganique, tels que nous les présente la géologie, nous semblent plus faciles à expliquer au moyen de l'hypothèse de changements graduels et insensibles, dont l'existence ne se manifeste que par ces faibles convulsions, observées dans les temps historiques ; à mesure qu'il paraît possible de rapporter les anciennes fluctuations dans le monde organique aux modifications infinies des espèces, sans avoir besoin de recourir à des actes nouveaux et indépendants de la création, le nombre et l'importance des lacunes qui restent encore, ou l'extrême imperfection des monuments devient de plus en plus frappante, et ce que nous possédons des anciennes annales de l'histoire de la terre nous semble bien peu de chose en comparaison de ce qui a été perdu.

Quand on examine une vaste étendue comme l'Europe, on trouve que la hauteur moyenne ou extrême des anciennes formations au-dessus du niveau de la mer surpasse ordinairement celle des dépôts plus modernes ; ainsi, les formations primaires ou paléozoïques s'élèvent plus haut que les secondaires, et celles-ci à leur tour plus haut que les tertiaires, tandis que, par rapport aux divisions tertiaires, le groupe inférieur ou l'Éocène atteint à son sommet un niveau supérieur à celui du Miocène, et ce dernier une plus grande élévation que les formations du Pliocène. En définitive, les dépôts post-tertiaires, ceux au moins d'origine marine, sont le plus communément limités à des hauteurs de beaucoup inférieures, au-dessus du niveau de la mer, à celles des couches tertiaires.

On a également observé que les couches, en proportion de la nouveauté de leurs dates, affectent, dans leur caractère minéralogique, une plus grande ressemblance avec celles qui sont actuellement en voie de progrès dans les mers et les lacs, couches dont les plus récentes consistent principalement en vase molle ou sable meuble, remplies, sur certains points, de coquilles, de coraux et d'autres corps organiques, animaux ou végétaux, et dépourvues, sur d'autres, de tous ces restes. Les changements qu'ont eu à subir les dépôts sédimentaires sont d'autant plus considérables que nous remontons à une époque plus reculée de nos jours, et que nous examinons des formations d'une plus haute antiquité. Ainsi, des masses qui étaient primitivement molles et impressionnables, ont été condensées par pression, d'autres qui étaient incohérentes ont été solidifiées par la filtration de la matière minérale qui a cimenté entre elles leurs parties séparées, d'autres ont été modifiées par la chaleur, traversées par des fentes dues au retrait de la matière et cristallisées en partie ; ou bien des couches ont été fracturées pendant des tremblements de terre, courbées et contournées par la pression latérale, jetées dans une position verticale ou même bouleversées, de sorte que l'ordre primitif de superposition a été

renversé et que les lits situés à la partie la plus basse dans l'origine ont été portés à la partie supérieure.

D'autres fois, les restes organiques ont été complétement anéantis, ou bien la matière animale qui les composait a été enlevée et remplacée par d'autres substances, comme dans les cas de la silicatisation des fossiles calcaires.

De même, on observe que plus les roches sont anciennes, plus leurs restes organiques s'éloignent des types existants de la création. On trouve d'abord, dans les roches tertiaires récentes, quelques espèces rares qui n'existent plus, mêlées à un assez grand nombre d'espèces vivantes, et puis, en fouillant plus profondément, on obtient plusieurs genres et plusieurs familles inconnus de nos jours, et l'on arrive à des couches dans lesquelles on n'a pu encore découvrir des restes fossiles d'espèces vivantes, à l'exception de quelques formes élémentaires d'invertébrés, tandis qu'on commence à y remarquer certains ordres d'animaux et de plantes qui ne sont aucunement représentés dans le monde actuel.

Lorsqu'on étudie les monuments géologiques de la terre et ses habitants, on y trouve, comme dans l'histoire humaine, des défectuosités et une obscurité toujours croissante à mesure que l'on remonte à une époque plus reculée. On éprouve une difficulté de plus en plus grande pour déterminer les véritables rapports chronologiques des roches, surtout quand on compare celles qui ont été formées simultanément dans des régions très-éloignées du globe. Il suit de là que l'on avance d'un pas plus assuré, quand on commence par l'étude des souvenirs géologiques des époques récentes, en procédant du nouveau à l'ancien, ou du plus connu au moins connu.

En intervertissant ainsi l'ordre naturel, en apparence, des recherches historiques, on doit bien se souvenir que chacune des périodes ci-dessus énoncées, même parmi les plus courtes, telles que les périodes Post-tertiaire, Pliocène, Miocène et Eocène, embrasse une succession d'événements d'une si grande étendue, qu'il faudrait plusieurs volumes de la con-

tenance de ce traité pour décrire l'une quelconque d'entre elles d'une manière satisfaisante. Il faut dire cependant que, lorsqu'on aborde un de ces groupes les plus nouveaux, avant d'essayer de déchiffrer les monuments d'un groupe plus ancien, c'est comme si l'on avait la prétention de posséder l'histoire de notre pays et celle des nations contemporaines, avant d'étudier l'histoire Romaine, ou de compulser les annales de l'Italie et de la Grèce ancienne, avant d'apprendre celles de l'Égypte et de l'Assyrie. Qu'il y ait des inconvénients à intervertir ainsi l'ordre des événements successifs dont nous avons à parler, je l'admets pleinement, mais je suis forcé de convenir aussi que ce système offre des avantages incontestables et que, pratiquement, il sert à éviter toute méprise dans la succession chronologique des formations.

L'origine des noms primaire et secondaire a été expliquée dans le chapitre VIIIe, p. 145, 148.

Les formations *Tertiaires* ont été ainsi nommées, parce qu'elles sont toutes postérieures en date aux roches appelées *Secondaires*, dont la Craie ou le Crétacé constitue le groupe le plus moderne, n° 9, fig. 140. Les couches tertiaires ont été d'abord confondues, comme nous l'avons établi p. 149, avec les alluvions superficielles de l'Europe, et ce n'est que longtemps après que l'on a reconnu leur étendue réelle et leur épaisseur, ainsi que les âges auxquels elles appartiennent. On les avait observées par lambeaux, et, que leur origine fût d'eau douce ou marine, elles occupaient d'ordinaire une surface restreinte comparativement aux formations secondaires ; leur position indiquait souvent qu'elles avaient été déposées dans des baies, des lacs, des estuaires ou des mers intérieures, après la transformation en terre ferme d'une vaste portion de l'espace maintenant occupé par l'Europe.

Les premiers dépôts de cette classe dont on détermina les caractères avec exactitude, ceux des environs de Paris, furent décrits, en 1810, par MM. Cuvier et Brongniart. Ces

savants établirent qu'ils consistaient en groupes successifs de couches superposées, les uns d'origine marine, les autres d'eau douce. Les coquilles et coraux fossiles qu'ils contenaient, étaient presque tous d'espèces nouvelles, et présentaient généralement une grande affinité avec ceux qui habitent aujourd'hui les mers des régions plus chaudes. Cuvier eut à examiner des os et squelettes d'animaux terrestres appartenant à plus de quarante espèces distinctes, dont quelques-unes de taille colossale ; il déclara que ces animaux différaient spécifiquement, et, pour la plupart génériquement, de tous les produits connus de la création actuelle.

Bientôt on observa, dans le voisinage de Londres et dans le Hampshire, des couches que, malgré leur différence de composition minéralogique, M. T. Webster eut raison de considérer comme contemporaines des formations Parisiennes, car les coquilles fossiles qu'elles contenaient étaient, pour le plus grand nombre, spécifiquement identiques. Le même motif conduisit à penser que les roches du bassin de la Gironde, dans le midi de la France, et celles de certains points du nord de l'Italie, pourraient bien dater de la même époque que les précédentes.

Plus tard, furent découverts, dans différentes parties de l'Europe, des dépôts reposant immédiatement sur des roches aussi anciennes ou plus anciennes que la craie, et montrant, par leurs débris organiques, certains caractères généraux de ressemblance avec ceux qu'on avait antérieurement observés dans les environs de Paris et de Londres. On essaya d'abord de rapporter le tout à une seule période ; mais cette identification ne tarda pas à paraître impraticable, et l'on prétendit que, semblablement à ce qui avait eu lieu pour la série parisienne, plusieurs formations subordonnées, d'une épaisseur considérable, avaient dû s'accumuler l'une après l'autre durant un long intervalle de temps, de telle sorte que les divers lambeaux de couches tertiaires répandus sur l'Europe pouvaient aujourd'hui correspondre, quant à leur âge, les uns aux subdivisions les plus anciennes, et

les autres aux subdivisions les plus modernes du bassin de Paris.

Cette erreur, bien qu'elle fût presque inévitable de la part de ceux qui avaient fait les premières généralisations dans cette branche de la géologie, retarda de plusieurs années les progrès de la classification. Une attention plus scrupuleuse, apportée dans l'étude différentielle des espèces fossiles, aidée d'ailleurs par un examen plus approfondi de la position relative des couches qui les contenaient, conduisit enfin à reconnaître qu'il existait à la fois des formations tertiaires marines et d'eau douce de différents âges, toutes plus modernes que les couches du voisinage de Paris et de Londres.

L'un des premiers pas vers cette réforme chronologique date de 1811 : un naturaliste anglais, M. Parkinson, établit que certaines couches coquillières, vulgairement appelées *Crag* dans le Suffolk, reposaient sans équivoque sur un dépôt continuant l'argile bleue de Londres. Il remarqua, de plus, que les testacés fossiles de ces couches plus nouvelles étaient distincts de ceux de l'argile bleue sous-jacente; que certains appartenaient à des espèces inconnues, tandis que d'autres étaient identiques avec des espèces habitant aujourd'hui les mers Britanniques.

Une découverte importante fut faite bientôt après par Brocchi, en Italie. Ce savant avait étudié les dépôts argileux et sableux remplis de coquilles, qui, de chaque côté des Apennins, des plaines du Pô à la Calabre, forment une longue rangée de collines. Ces collines, principalement composées de couches marines plus modernes que celles de Paris et de Londres, reçurent de lui le nom de Subapennines.

Un autre groupe tertiaire des environs de Bordeaux et de Dax, dans le midi de la France, fut examiné, en 1825, par M. de Basterot, qui découvrit et figura plusieurs centaines d'espèces de coquilles différant, pour la plupart, de celles des séries Parisiennes et des collines Subapennines. On pensa que cette faune appartenait à une période intermé-

diaire entre les couches Parisiennes et les couches Subapennines, et des exemples de superposition bien évidente ne tardèrent pas à confirmer cette opinion ; on découvrit, en effet, sur certains points de la vallée de la Loire, d'autres couches contemporaines de celles de Bordeaux, superposées à la formation Parisienne, et sur un autre point, en Piémont, ces mêmes couches, au-dessous des couches Subapennines. Le premier de ces exemples fut signalé, en 1829, par M. Desnoyers, qui s'assura que le sable et la marne d'origine marine, appelés Faluns, près de Tours, dans le bassin de la Loire, et qui sont remplis de coraux et de coquilles marines, reposaient sur une formation lacustre constituant la sous-division supérieure du groupe Parisien et s'étendant sans discontinuité à travers un grand plateau entre le bassin de la Seine et celui de la Loire. L'autre exemple fut observé par Bonelli et d'autres géologues, aux environs de Turin, dans des couches contenant plusieurs fossiles semblables à ceux de Bordeaux, et sur lesquelles reposaient d'autres lits appartenant au groupe Subapennin de Brocchi.

Sans prétendre donner ici une esquisse complète de toutes les phases de cette découverte, je me bornerai aux faits précédents pour montrer la voie suivie d'ordinaire par les géologues qui essayent de créer de nouvelles divisions chronologiques. Leur méthode a quelque analogie avec celle qu'applique le naturaliste, lorsque, pour établir des genres, il choisit une espèce type, et classe comme congénères toutes les espèces d'animaux ou de plantes qui concordent dans certaines limites avec ce type. Supposons les deux genres A et C fondés d'après ces principes ; quand le naturaliste rencontrera plus tard telle espèce nouvelle, très-différente de A et de C, mais présentant sous certains rapports un caractère intermédiaire, il sera dans la nécessité d'établir le nouveau genre B, qui renfermera toutes les espèces ultérieurement reconnues et plus rapprochées de B que des types A ou C. Il en est de même en géologie, quand on a découvert quelque formation nouvelle dont on s'occupe d'étudier la

faune et la flore. Dès ce moment, cette formation représente une certaine période de l'histoire de la terre, et devient pour d'autres dépôts un terme de comparaison. Si l'on rencontre quelque autre formation qui contienne les mêmes débris organiques, ou à peu près, et qui occupe la même position relative, on la considère comme remontant à une époque contemporaine; et dès lors ces monuments ne se rapportent plus pour nous qu'à une seule et même période, durant laquelle se sont passés certains événements, tels que la formation de roches particulières par l'action des eaux et des volcans, ou bien le développement et la fossilisation de certaines tribus d'animaux et de plantes. Après qu'un nombre quelconque de ces périodes ont pris place dans la série chronologique, on en trouve d'autres qu'il devient nécessaire d'intercaler entre les premières, et la difficulté d'assigner des lignes très-nettes de séparation croît généralement en proportion du nombre des lacunes que l'on remplit successivement dans l'histoire du globe.

Les zoologistes et les botanistes savent qu'il est comparativement facile d'établir des genres dans les catégories qui ne comptent qu'un petit nombre d'espèces et ne manifestent encore aucune tendance à passer d'un groupe à un autre. Ils n'ignorent pas non plus que la difficulté de la classification augmente, et que l'artifice des divisions se dessine de plus en plus à mesure que croît le nombre des objets examinés; mais, pour séparer les familles et les genres, ils n'ont d'autres ressources que d'utiliser les interruptions ou les hiatus qui n'auraient point encore été remplis dans la chaîne des êtres animés : il en est de même en géologie, nous sommes forcés d'admettre des divisions de temps aussi arbitraires, aussi purement conventionnelles que celles qui partagent en siècles l'histoire des événements humains; et, dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne saurions mieux faire que de nous servir des interruptions qui existent encore dans la série régulière des monuments géologiques, comme de lignes de démarcation tracées entre nos princi-

paux groupes ou périodes, bien que des groupes ainsi établis soient de valeur tout à fait inégale.

Nous avons déjà fait ressortir la position isolée de dépôts tertiaires distincts sur différentes parties de l'Europe. Outre la difficulté qui naît du manque de continuité lorsqu'on cherche à établir les rapports chronologiques de ces dépôts, il en résulte une autre de la variété fréquente des caractères minéralogiques que présentent des couches de date contemporaine, telles, par exemple, que celles de Londres et de Paris. L'identité ou la non-identité des espèces est aussi un criterium souvent trompeur. En effet, la mer Méditerranée et la mer Rouge, bien que situées à 112 kilomètres seulement l'une de l'autre, de chaque côté de l'isthme de Suez, ont chacune leur faune particulière, et l'on trouve des différences marquées entre les quatre groupes de testacés qui habitent aujourd'hui la Baltique, la Manche, la mer Noire et la Méditerranée, bien que toutes ces mers aient plusieurs espèces communes. En outre, quelque grande que soit la diversité entre les fossiles des différentes formations tertiaires qui ont été déposées séparément en des mers, estuaires, baies et lacs distincts, elle n'implique pas toujours un égal défaut de concordance entre les époques où ces formations ont été produites, car elle a pu résulter du climat et des conditions géographiques entièrement indépendantes du temps. D'un autre côté, il est parfaitement constaté, en géologie, que des groupes de couches tertiaires, bien qu'immédiatement superposés l'un à l'autre, contiennent cependant des espèces distinctes de fossiles ; ce fait est une conséquence des fluctuations qui ont eu lieu dans la création animée, et par lesquelles, durant le cours des âges, un certain ensemble d'êtres organiques a été substitué à un autre ensemble tout à fait différent. Il a été également démontré que plus l'âge d'un dépôt tertiaire est moderne, plus la faune de ce dépôt présente d'analogie avec celle qui habite les mers voisines. Cette loi du rapprochement relatif des testacés fossiles avec les espèces qui vivent actuellement nous fournit souvent un moyen de classer

chronologiquement des dépôts séparés, lorsque nous ne rencontrons aucun des trois caractères chronologiques ordinaires : la superposition, le caractère minéralogique, l'identité spécifique des espèces fossiles.

On a observé sur le bord Africain de la mer Rouge, à plus de 12 mètres au-dessus de son niveau, une formation calcaire blanche, contenant plusieurs centaines d'espèces de coquilles différentes de celles que l'on trouve dans l'argile et le tuf volcanique des environs de Naples, dans le golfe de Baïes, par exemple. A Uddevala, en Suède, on a reconnu un autre dépôt dont les coquilles ne se rapportent pas non plus à celles des environs de Naples. Mais bien que, dans ces trois cas, il y ait à peine une seule espèce commune aux trois dépôts différents, nous n'hésitons pas à les rapporter tous à une seule période (*Post-pliocène*), à cause des très-grands rapports de leurs fossiles avec les testacés qui vivent encore dans les mers contiguës.

Prenons un autre exemple où la faune fossile s'éloigne encore plus de celle de l'époque actuelle : comparons d'abord certaines couches situées à la base orientale de l'Etna, près de Trezza, ci-après mentionnées ; puis d'autres couches d'origne fluvio-marine situées près de Norwich, et enfin un troisième groupe qui s'élève souvent à des hauteurs considérables en Sicile. Dans chacun des cas, nous trouverons plus des trois quarts des coquilles concordant avec les espèces qui vivent encore, tandis que le reste se composera d'espèces éteintes; et nous pourrons en conclure que toutes ces couches, quelque divers que soient leurs fossiles, appartiennent à une seule et même période immédiatement antérieure au Post-pliocène, parce que, pour un changement égal ou presque égal de la faune testacée marine, il s'est écoulé dans chacune de ces localités un même laps de temps. En cet état, et malgré les différences très-tranchées du caractère minéralogique ou des fossiles, nous déduirons la contemporanéité d'origine de l'égal degré de discordance qui sépare les coquilles de celles qui vivent actuellement dans les mers voi-

sines. L'avantage de ce procédé sera de nous fournir dans tous les pays, quelque éloignés qu'ils soient, un commun point de départ.

Mais, plus nous nous séparons de l'époque actuelle, et plus nous voyons diminuer dans les dépôts tertiaires le nombre relatif des coquilles récentes, comparé à celui des espèces perdues ; moins aussi nous devons avoir confiance dans la valeur absolue d'un tel caractère, surtout lorsque nous comparons entre elles les couches de régions très-distantes ; car nous ne saurions admettre que la somme des changements dans le monde animé primitif, et l'apparition et la disparition continuelles des espèces, aient été partout exactement égales pour des espaces de temps égaux. La forme de la terre et de la mer, ainsi que le climat, ont pu se modifier bien plus dans un pays que dans un autre ; et, par conséquent, il a pu se produire une destruction et un renouvellement plus rapides des espèces, sur un tel point du globe que sur tel autre. Des considérations de ce genre devront évidemment nous prémunir contre une confiance trop aveugle dans la valeur du caractère dont il vient d'être question, bien qu'il ne puisse manquer de jeter un grand jour sur les rapports chronologiques des groupes tertiaires, soit entre eux, soit avec la période Post-pliocène.

Cette conviction s'affermit dans notre esprit, non-seulement lorsque nous étudions les monuments géologiques de tous les âges, mais encore lorsque nous réfléchissons sur la tendance que montre aujourd'hui la nature vers une certaine uniformité, et, en même temps, une certaine simultanéité de fluctuations, dans la faune et la flore du globe entier. Les bases de cette doctrine ne sauraient être discutées ici, et je les ai développées dans le troisième livre des *Principes de géologie*, où j'ai cherché les causes de l'extinction successive des espèces. On peut y voir que chaque changement local dans le climat et dans la géographie physique est accompagné d'un accroissement immédiat de certaines espèces et de la diminution d'autres espèces. Une révolution de ce

genre n'est que rarement, ou même jamais, confinée à un espace limité ou à une province géographique particulière d'animaux et de plantes. Dans chacune des provinces contiguës, des changements analogues de station et d'habitat des espèces ont lieu simultanément, et il en résulte que, longtemps avant que la géographie de chaque district particulier puisse être essentiellement altérée, la flore et la faune du globe se trouvent matériellement modifiées par des perturbations survenues dans les rapports mutuels des différents membres de la création organique. Admettre que, sur une large surface, habitée exclusivement par un seul ensemble d'espèces, une révolution importante dans la géographie physique puisse avoir lieu sans que d'autres surfaces soient atteintes quant à la position de la terre et de la mer, à la hauteur des montagnes, etc., ce serait faire une hypothèse très-improbable, et tout à fait opposée à ce que nous connaissons des lois qui régissent aujourd'hui les actions ignées et aqueuses. D'un autre côté, en acceptant la même possibilité du fait, l'équilibre de la chaleur et du froid entre les différentes parties de l'atmosphère et de l'océan s'établit avec si peu d'obstacles et tant de rapidité, que la température de certaines zones ne saurait matériellement s'élever ou s'abaisser sans que d'autres en soient immédiatement affectées ; or l'élévation ou l'abaissement d'une chaîne importante de montagnes, ou la submersion d'une large étendue de terres, modifierait le climat, même aux antipodes.

On remarquera dans les citations des débris organiques qui vont suivre, que les testacés ou mollusques à coquilles ont été choisis comme la classe la plus utile et la plus appropriée au but d'une classification générale. Ils sont plus universellement répandus que tous les autres corps organiques à travers les couches des différents âges, tandis que les familles de fossiles qui ne se présentent que rarement ou accidentellement ne peuvent être d'aucune utilité pour établir un arrangement chronologique. Si l'on n'a que des plantes dans un groupe de couches, et des ossements de

mammifères dans un autre, quelle conclusion peut-on en tirer sur l'affinité ou la discordance des êtres organiques des deux époques comparées? On peut en dire autant, si l'on a des plantes et des animaux vertébrés dans une série, et seulement des coquilles dans une autre. Bien que les coraux soient plus abondants à l'état fossile que les plantes, les reptiles ou les poissons, ils sont rares encore, comparés aux coquilles, surtout dans les formations tertiaires d'Europe. L'utilité des testacés résulte encore de cette circonstance que certaines de leurs formes sont propres à la mer, tandis que d'autres sont propres à la terre et d'autres à l'eau douce. Les rivières ne manquent jamais d'apporter dans leurs deltas quelques coquilles terrestres, en même temps que des espèces fluviatiles et lacustres. Le géologue arrive ainsi à connaître quelles sont les espèces terrestres, d'eau douce, ou marines, qui ont coexisté à telles époques particulières du passé; et, lorsqu'il a identifié des couches formées dans la mer avec d'autres couches formées en même temps dans les lacs de l'intérieur des terres, il peut aller plus loin et prouver que certains quadrupèdes ou certaines plantes aquatiques, trouvés à l'état fossile dans des formations lacustres, ont habité le globe à la même époque où des reptiles, des poissons et des zoophytes vivaient eux-mêmes dans l'océan.

Parmi d'autres caractères appartenant aux mollusques, et qui peuvent être très-utiles pour établir la chronologie géologique, nous mentionnerons le large développement géographique de plusieurs espèces; et, comme conséquence du caractère précédent, la longue durée des espèces de cette classe, durée qui est le résultat probable de leur développement, et qui paraît avoir dépassé celle du plus grand nombre des mammifères et des poissons. Si les espèces avaient habité chacune un espace très-limité, le géologue n'aurait pu invoquer leur présence dans les couches pour identifier des dépôts éloignés; ou bien, si chacune n'avait duré qu'une courte période, elles ne jetteraient qu'une faible lumière sur la connexion de roches distantes l'une de l'autre, dans l'or-

dre chronologique, ou, comme on dit souvent, dans l'ordre vertical.

Différents auteurs ont divisé les couches tertiaires d'Europe en trois groupes: le groupe inférieur ou formations plus anciennes de Paris et de Londres; le groupe moyen ou formations de Bordeaux et de Touraine; et le groupe supérieur, comprenant toutes les formations plus nouvelles que celles du groupe moyen.

En 1828, pendant que je préparais mon ouvrage sur les *Principes de géologie*, je conçus l'idée de classer toute la série des couches tertiaires en quatre groupes, et je m'efforçai de trouver, pour chacun d'eux, des caractères qui pussent exprimer leurs différents degrés d'affinité avec la faune actuelle. Dans ce but, j'obtins, sur l'identité spécifique d'un grand nombre de coquilles tertiaires et récentes, des notes de plusieurs naturalistes Italiens, parmi lesquels je citerai les Professeurs Bonelli, Guidotti et Costa. Ayant fait connaissance, en 1829, avec M. Deshayes, de Paris, savant déjà très-connu par ses ouvrages conchyliologiques, j'appris de lui qu'il était arrivé, par ses recherches personnelles et par l'étude d'une nombreuse collection de coquilles fossiles et récentes, à des vues tout à fait semblables aux miennes sur l'arrangement des formations tertiaires. A ma demande, il dressa sous forme de tableau des listes de toutes les coquilles qu'il savait se présenter à la fois dans quelque formation tertiaire et à l'état vivant, afin que l'on pût établir le nombre proportionnel des espèces fossiles identiques avec les espèces récentes qui caractérisaient les groupes successifs; j'ai publié, en 1833, ce tableau que nous avions rectifié en commun (1). Le nombre des coquilles tertiaires examinées par M. Deshayes était d'environ 3,000; et les espèces récentes qui leur avaient été comparées étaient d'environ 5,000. Le résultat fut que, dans les couches tertiaires inférieures, ou dans celles de Londres et de Paris, il y avait environ 3 1/2

(1) Voyez *Principes de géologie*, vol. III, 1re édit.

pour 100 d'espèces identiques avec les espèces récentes ; dans les couches tertiaires moyennes de la Loire et de la Gironde, environ 17 pour 100, et dans les lits tertiaires supérieurs ou Subapennins, de 35 à 50 pour 100. Quant aux formations encore plus modernes, dont j'ai étudié particulièrement quelques-unes en Sicile, et qui atteignent une vaste épaisseur et une grande élévation au-dessus du niveau de la mer, le nombre des espèces identiques avec celles qui vivent encore aujourd'hui fut évalué de 90 à 95 pour 100. Dans un but de clarté et de précision, je proposai de donner des noms techniques très-courts à ces quatre groupes ou aux périodes auxquelles ils appartenaient respectivement. J'appelai le premier ou le plus ancien, Éocène ; le second, Miocène ; le troisième, Vieux Pliocène, et le dernier ou quatrième, Nouveau Pliocène. Le premier de ces mots est dérivé de ἕως, *eos* (aurore), et καινὸς (récent) : en effet, les coquilles fossiles de cette période ne comprennent qu'une très-petite proportion d'espèces vivantes, et l'on peut la considérer comme indiquant l'aurore de l'état actuel de la faune testacée, aucune espèce récente n'ayant été jusqu'à présent découverte dans les roches plus anciennes ou secondaires.

Le mot Miocène, de μεῖον, *meion* (moins), et καινὸς, *cainos* (récent), exprime une proportion moindre d'espèces testacées récentes. Le mot Pliocène, de πλεῖον, *pleion* (plus), et καινὸς, *cainos* (récent) indique un plus grand nombre de ces espèces. On peut résumer ces indications en rappelant que le *Miocène* contient une proportion *plus petite*, et le *Pliocène*, une proportion *plus grande* d'espèces récentes, et qu'un nombre plus grand d'espèces récentes implique toujours une origine plus moderne des couches.

On a objecté à cette nomenclature que certaines espèces d'infusoires trouvées dans la craie vivent encore actuellement, et que, d'un autre côté, les dépôts du Miocène et du Vieux Pliocène contiennent souvent les débris de mammifères, de reptiles et de poissons exclusivement d'espèces éteintes. Mais le lecteur doit se souvenir que les mots Éocène,

Miocène et Pliocène ont été originairement inventés pour désigner uniquement une date conchyliologique, et c'est dans ce sens que je m'en suis toujours servi et que je m'en sers encore.

Voici, d'après les recherches faites par M. Deshayes en 1830, la distribution des espèces fossiles :

Dans les formations du nouveau et de l'ancien Pliocène.	777
Dans le Miocène (supérieur ou Falunien)..............	1021
Dans l'Éocène (y compris le grès de Fontainebleau).....	1238
	3036

Depuis l'année 1830, le nombre des espèces vivantes, nouvelles, obtenues de différentes parties du globe, a augmenté considérablement ; il en est résulté des éléments nouveaux pour la comparaison, et les paléontologistes ont pu corriger plusieurs identifications erronées de formes fossiles et récentes. De nouvelles espèces ont été recueillies en abondance dans les formations tertiaires des différents âges, pendant que des groupes de couches, récemment découverts, venaient remplir des lacunes dans la série précédemment connue. De là des modifications et des réformes dans la classification d'abord proposée. Les périodes Éocène, Miocène et Pliocène ont été établies pour comprendre certains groupes de couches dont les fossiles ne sont pas toujours exactement conformes, quant aux proportions des espèces récentes et des espèces éteintes, aux définitions que j'avais d'abord données ou que comporte l'étymologie de ces mots. Je traiterai plus à fond de ces innovations et d'autres changements dans les quatorzième et quinzième chapitres.

Nouveau Pliocène. — Ischia. — Nous avons déjà vu, p. 174, qu'il existe dans le voisinage de Naples, des tufs stratifiés qui contiennent un grand nombre de coquilles fossiles, dont les espèces concordent avec celles qui vivent actuellement dans la Méditerranée. Les tufs volcaniques des environs de l'île d'Ischia, dont la plupart, situés au sommet du Santo-Nicolas ou mont Epoméo, ont une hauteur de 790 mètres

au-dessus du niveau de la mer, sont d'une époque qui a immédiatement précédé ces formations Post-pliocènes. J'ai consigné, dans les premières éditions de mes *Principes de géologie* (1), que j'avais pu recueillir, en 1828, plusieurs fossiles, près du village de Moropano, à une hauteur de 600 mètres au-dessus de la Méditerranée. En visitant de nouveau l'île d'Ischia, j'ai reconnu que l'élévation de la localité en question n'avait pas plus de 486 mètres ; mais cette erreur n'a pas d'importance géologique, puisque l'on admet que ces couches forment une partie de ces mêmes marnes verdâtres et bleuâtres, qui s'étendent jusqu'au sommet de l'Epomeo. M. Deshayes, après avoir examiné la collection, formée de 28 espèces fossiles, que j'ai recueillie en cet endroit, a reconnu qu'elles étaient toutes d'espèces actuellement vivantes. Je donnai à ces formations le nom de Nouveau Pliocène, les rapportant à une date beaucoup plus moderne que les couches Subapennines (2), auxquelles le signor Spada Lavini proposa de les rattacher en 1853, basant son opinion sur ce que, parmi le grand nombre de fossiles obtenus dans ces lits d'Ischia, il avait trouvé le *Buccinum semistriatum* et le *Murex vaginatus* (voir *fig.* 141). On a supposé que ces deux coquilles étaient éteintes ; mais, bien que cela soit vrai de la première, commune dans les couches Subapennines, il n'en est pas également de l'autre, car le Murex, quoique rare (3), vit encore dans la Méditerranée, et on peut en voir à Londres, dans la collection de M. Cuming, des spécimens de date récente, sur lesquels nous avons pris la figure ci-jointe. Plusieurs géologues Italiens, qui n'avaient pas exploré Ischia, adoptèrent aussitôt la classification du Signor Spada ; mais M. Puggaard, qui connaissait parfaitement l'île, pro-



FIG. 141. — *Murex vaginatus*, Phil.

(1) *Principes de géologie*, vol. III, p. 126, 1833.
(2) Voir la table des *Principes*, vol. III, pp. 16 et 126.
(3) Lyell, sur le mont Etna, *Transactions philosophiques*, p. 778 ; 1858.

testa immédiatement contre cette opinion (1), et on ne saurait douter, d'après le caractère général des restes organiques, que la masse d'Epomeo n'ait été formée sous les eaux de la mer à la fin de la période du Nouveau Pliocène, et ne se soit ensuite élevée à 790 mètres au-dessus de son niveau primitif dans la période Post-pliocène.

Vésuve. — Le vieux cône du Vésuve, ou Monte-Somma, est, géologiquement parlant, si moderne que l'éruption qui le forma, se fit jour à travers des argiles marines et des tufs, d'un âge identique à ceux d'Ischia ci-dessus mentionnés. Dans les anciennes laves, parmi les fragments de tuf et de conglomérat, constituant en partie les couches mises à nu dans le ravin appelé Fosso-Grande, ainsi que dans le Rivo di Quaglia, élevé de 300 mètres au-dessus de la mer, le Signor Guiscardi a pu cueillir 100 coquilles, dont une, une seule, le *Buccinum semistriatum* déjà cité, n'existe plus. Il est clair, par conséquent, que les plus anciennes éruptions des Champs Phlégréens, ou régions volcaniques de Naples, durent avoir lieu à la fin de la période du Nouveau Pliocène, alors qu'une coquille unique sur cent diffère de celles qui vivent aujourd'hui dans la Méditerranée.

Sicile. — Base orientale de l'Etna. — Au nord de Catane, sur la côte orientale de la Sicile, à Aci-Castello, à Trezza et Nizzelti, par exemple, on observe, sur plusieurs points, des couches marines associées à des tufs volcaniques et à des laves basaltiques, qui appartiennent à une période contemporaine des premières éruptions ignées de l'Etna dans une baie peu profonde de la Méditerranée.

Lorsque je visitai pour la première fois la Sicile, en 1828, je recueillis soixante-cinq espèces de coquilles dans ces sables et argiles qui constituent, à vrai dire, avec les produits des éruptions les fondements du grand volcan. Secondé par M. Deshayes, je pus publier la liste de leurs noms (2), et

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, t, XI, 2e sér., p. 72, et t. XIII, p. 285, et XV, p. 362.

(2) *Principes de géologie*, vol. III, Appendice ; 1833.

démontrer que presque toutes ces coquilles concordent avec des espèces qui habitent aujourd'hui la mer voisine. En 1857 et 1858, à mon second voyage en Sicile, je dus à la complaisance du Docteur Aradas, de Catane, d'avoir en ma possession un bien plus grand nombre d'espèces, provenant des mêmes localités, et qui confirmaient les conclusions déjà prises, quant à l'âge de ces dépôts. Sur cent quarante-deux coquilles, toutes, à l'exception de onze, étaient identiques aux espèces actuellemement vivantes. Quelques-unes de ces onze coquilles séjournent encore peut-être dans la profondeur de la Méditerranée, le *Murex vaginatus*, par exemple (fig. 141, p. 307) ; cette dernière était déjà devenue rare, à l'époque de la formation des dépôts sous-Etnéens. En résumé, le caractère moderne de la faune testacée en question est démontré non-seulement par le petit nombre des espèces éteintes, mais encore par la proportion relative des individus qui représentent les autres espèces, proportion concordant parfaitement avec celle de la faune actuelle de la Méditerranée. La seule coquille éteinte qui puisse être regardée comme commune dans ces dépôts est le *Buccinum semistriatum*, le *B. musivum* vient après. Les neuf autres sont d'une telle rareté, qu'on est en droit de conclure qu'elles étaient sur le point de s'éteindre, après s'être développées surtout dans les premiers temps du Pliocène, lorsque les couches Subapennines étaient en voie de progrès.

Le cône entier de l'Etna, d'une hauteur de 3,352 mètres, et d'environ 154 kilomètres de circonférence a sa base, s'est lentement élevé depuis l'accumulation de ces sables et argiles du Nouveau Pliocène. Pour bien apprécier l'importance d'une telle opération qui a dû exiger des milliers d'années pour son accomplissement, il est nécessaire d'étudier en détail la conformation intérieure de la montagne, de vérifier l'existence de son axe double, ou la preuve que les laves du grand centre actuel d'éruption ont graduellement recouvert et enveloppé un cône plus ancien, situé à 5 kilomètres 1/2 à l'est du nouveau. On doit aussi s'assurer, chose facile, que

le volume moyen des laves plus anciennes n'excède pas en largeur et en épaisseur celui des matières provenant des éruptions particulières aux temps historiques. En considérant, d'ailleurs, ce laps de siècles passés dans lesquels se sont produits ces phénomènes, il faut tenir compte des différentes dates, de la composition des dikes par lesquels s'est écoulée la lave, composition qui varie suivant que ces fissures appartiennent à l'axe oriental ou à l'axe occidental ; de la façon dont une rangée de ces dikes en coupe une autre plus ancienne ; et de l'énorme dénudation, dont il reste un témoignage vivant sur le flanc oriental de la montagne, je veux parler de cette vallée profonde, connue sous le nom du Val del Bove. Enfin, il ne faut pas oublier l'exhaussement graduel au-dessus du niveau de la mer des roches marines primitivement formées, pas plus que l'origine de plusieurs centaines de petits cônes, qui résultent d'éruptions latérales pendant la phase la plus moderne du cataclysme. Ce n'est qu'après avoir fait toutes ces observations et d'autres analogues qu'on pourra se former une idée de l'ancienneté prodigieuse des couches marines du Nouveau Pliocène que nous venons de écrire.

Tandis que le volume de l'Etna se développait par une série d'éruptions,. sa masse entière, y compris les fondations d'origine aqueuse ci-dessus mentionnées, obéissait à un mouvement lent d'élévation, qui a porté ses couches marines à une hauteur de 365 mètres environ au-dessus de la mer, comme on l'observe à Catera, et peut-être à une hauteur plus grande, car on ne peut la mesurer du côté de l'est, à cause des couches continues et épaisses de laves récentes qui recouvrent ces formations. Pendant l'exhaussement graduel de ces dépôts du Nouveau Pliocène, formés d'argiles, de sables, et de basaltes, d'autres couches de date Pliocène, marines et fluviatiles, se sont accumulées autour de la base de la montagne, en participant, à leur tour, au mouvement d'élévation, et ont donné lieu successivement à des précipices et à des terrains médiocrement élevés, dus en partie

à l'action de la mer, en partie à celle de la rivière Simeto.

On a trouvé dans ces couches Post-pliocènes, des restes d'éléphants et d'autres espèces éteintes de quadrupèdes, avec des coquilles récentes.

Couches du Nouveau Pliocène de Sicile. — En aucun point de l'Europe autant qu'en Sicile, les formations du Nouveau Pliocène ne paraissent s'étendre sur une surface aussi large et s'élever à des hauteurs aussi considérables. Elles couvrent presque la moitié de l'île et atteignent, près du centre, à Castrogiovanni, une élévation de 900 mètres. Elles se divisent en deux séries principales : la supérieure, calcaire, et l'inférieure, argileuse ; toutes deux se montrent à Syracuse, à Girgenti et à Castrogiovanni. Suivant Philippi, à qui l'on doit la meilleure description de cette île, sur les cent vingt-quatre espèces qui sont fournies par les couches de la Sicile centrale, trente-cinq sont éteintes.

Un géologue habitué à voir dans le nord de l'Europe presque toutes les formations du Nouveau Pliocène occuper des bas-fonds et rester très-incohérentes dans leur texture, est naturellement surpris de rencontrer des formations de cet âge, aussi solides, aussi pierreuses, aussi épaisses, et atteignant une élévation aussi considérable au-dessus du niveau de la mer.

La partie supérieure ou calcaire de ce groupe consiste, en Sicile, sur quelques points, en une pierre d'un blanc jaunâtre, semblable au Calvaire Grossier Parisien ; sur d'autres points, c'est une roche presque aussi compacte que le marbre, et dont l'épaisseur varie quelquefois de 200 à 250 mètres. On y rencontre habituellement des couches régulières, horizontales, accidentellement coupées par de profondes vallées, comme celles de Sortino et Pentalica que percent de nombreuses cavernes. Les coquilles fossiles se présentent à tous les états de conservation, depuis celles qui conservent une partie de leur matière animale et de leur couleur, jusqu'à celles qui ne sont plus que de simples moules.

Du calcaire on passe à un grès et conglomérat, au-dessous desquels sont une argile et une marne bleue semblables à

celles des collines Subapennines ; on peut en extraire des coraux et des coquilles en parfait état de conservation. L'argile alterne quelquefois avec du sable jaune.

Au sud de la plaine de Catane, les couches tertiaires sont entremêlées de matières volcaniques, produites en majeure partie par des éruptions sous-marines. A l'époque où l'argile, le sable et le calcaire jaune étaient en voie de formation au fond de la mer, des volcans auraient fait éruption au-dessous des eaux, comme à l'île Graham, en 1831, et ces accidents se seraient renouvelés à des intervalles successifs. Soumis à l'action des flots et des courants, les cendres et le sable volcaniques auraient formé les couches de tuf intercalées aujourd'hui entre les lits calcaires et argileux qui contiennent les coquilles marines. L'épaisseur de la masse entière dépasse 600 mètres. On peut voir les fissures ou *dikes* par lesquelles la lave s'est élevée sur certains points, près de Lentini par exemple, où se rencontre un conglomérat dans lequel j'ai observé plusieurs galets de roches volcaniques entièrement couverts de *Serpules*. Ce phénomène s'expliquerait par l'existence en cet endroit de quelques petites îles volcaniques, détruites depuis par les eaux, comme l'île Graham qui a disparu en 1831. Après avoir été roulés pendant un certain temps sur les bords de ces îles temporaires, les blocs arrondis et les galets volcaniques auraient été entraînés sur des points tranquilles de la mer qu'ils auraient occupés pendant des années, et les serpules se seraient fixées et développées librement à leur surface, comme on le voit à la figure de la page 38 ; finalement le lit de galets aurait été lui-même recouvert de couches calcaires coquillières. A Vizzini, distant de quelques kilomètres au Sud-Ouest, j'ai rencontré une autre preuve du développement graduel de ces formations modernes et des longs intervalles qui ont séparé les différentes coulées de lave : un lit d'huîtres, de 6 mètres au moins d'épaisseur, repose sur un courant de lave basaltique ; les huîtres sont tout à fait identiques avec notre espèce comestible commune, et, sur ce lit, repose une seconde

masse de lave avec tuf ou pépérino. Au milieu des mêmes formations alternatives, ignées et aqueuses, on voit près de Galieri, non loin de Vizzini, un lit horizontal, épais d'environ $0^{m},45$, et qui est entièrement composé d'un corail méditerranéen commun (*Caryophyllia cæspitosa*, Lam.) (fig. 142). Les coraux ont gardé la position verticale qui leur était na-

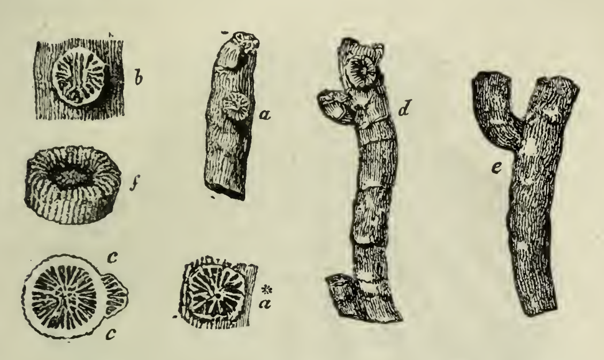


FIG. 142. — *Caryophyllia cæspitosa*, Lam. (*Cladocora stellaria*, Milne Edw. et Haime).

a. Tige avec bourgeon naissant sur le côté. — *a**. Le bourgeon précédent, grossi. — *b*. Portion de branche grossie deux fois, avec la base d'une autre branche latérale; les côtes extérieures de la branche principale apparaissent à travers les lamelles de la branche latérale. — *c*. Coupe en travers de la branche principale précédente, montrant par l'intégrité de celle-ci, que la branche latérale ne naît pas d'une subdivision de l'animal. — *d*. Branche présentant une autre branche latérale à sa base, et deux jeunes coraux à sa partie supérieure. — *e*. Branche principale, avec une autre latérale pleinement développée. — *f*. Étoile terminale complète.

turelle, et, quand on les a suivis sur quelques centaines de mètres, on les retrouve, à une hauteur correspondante, sur le flanc de la vallée.

On sait que les coraux sont ordinairement ramifiés, non par la division des animaux, comme le supposent quelques auteurs, mais par la fixation de jeunes individus sur d'autres individus plus âgés; or, nous devons tenir compte de ce mode d'accroissement, car il nous permet d'apprécier le temps qui s'est écoulé pendant la construction du lit entier de corail, par celui qu'a nécessité le développement de plusieurs générations successives (1).

(1) Je dois à M. Lonsdale les détails relatifs à la structure de ce corail.

Parmi les coquilles fossiles qu'on rencontre dans ces couches de Sicile, et qui abondent encore dans la Méditerranée, aucune n'est plus remarquable par sa grosseur et sa fréquence que le grand peigne, *Pecten jacobæus* (fig. 143), aujourd'hui si commun dans les mers voisines. Nous l'avons vu en grand nombre dans le calcaire de Palerme et de Gir-

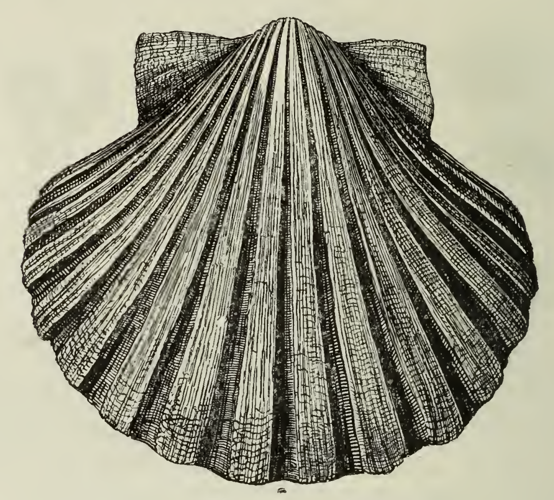


FIG. 143. — *Pecten jacobæus*, moitié grosseur.

genti, et dans celui qui alterne avec les roches volcaniques, entre Syracuse et Vizzini, souvent à de grandes hauteurs au-dessus de la mer.

Plus nous réfléchissons à la quantité considérable de ces coquilles récentes, plus nous nous étonnons de l'épaisseur, de la solidité et de la hauteur au-dessus de la mer, des masses rocheuses dans lesquelles elles sont enfouies, et en même temps des immenses changements géographiques qui sont survenus depuis leur origine. N'oubliant pas que les couches supérieures ont été déposées sous les eaux, il nous faut, pour concevoir une idée juste de leur ancienneté, examiner séparément les innombrables particules dont se composent l'ensemble et les lits successifs de coquilles, de coraux, de

cendre volcanique, de conglomérat, de coulées de lave, et calculer le temps nécessaire pour l'élévation graduelle des roches et l'excavation des vallées. Dans cette supputation, la période historique représenterait à peine une unité appréciable, car nous trouvons d'anciens temples grecs, comme ceux de Girgenti (Agrigentum), construits avec le calcaire moderne sur des collines constituées par le même calcaire, sans que l'emplacement paraisse avoir subi la plus faible altération depuis que les Grecs ont colonisé pour la première fois cette île.

L'âge récent des roches de cette région conduit à une autre conclusion singulière et inattendue, c'est que la faune et la flore d'une grande partie de la Sicile sont plus anciennes que la contrée même, et qu'elles ont précédé non-seulement l'exhaussement et l'émersion du sol actuel, mais encore la réunion au fond des eaux des matières qui les composent aujourd'hui. En effet, la plus grande partie de l'île a été convertie en terre ferme à une époque où la Méditerranée était déjà peuplée de presque toutes les espèces de testacés et de zoophytes qui l'habitent actuellement. On peut donc présumer qu'avant l'immersion de cette région, les mêmes coquilles terrestres et d'eau douce, et presque tous les animaux et plantes qui peuplent la Sicile, existaient déjà, car la faune et la flore terrestre de cette île sont précisément celles des autres parties environnantes de la Méditerranée. Il ne paraît pas s'y rencontrer d'espèces particulières ou indigènes, et celles qui y sont établies aujourd'hui ont probablement émigré de terres déjà existantes, de la même manière que les plantes et animaux du territoire de Naples ont colonisé Monte Nuovo depuis l'apparition de ce cône volcanique, au seizième siècle.

Ces conclusions jettent un nouveau jour sur la relation qui existe entre les habitudes d'émigration des animaux et des plantes, et les changements qui surviennent incessamment dans la géographie physique du globe. Il est évident qu'en raison de la durée considérable de leur existence, les espèces sont destinées à survivre à plusieurs grandes révolutions dans la configuration de la surface de la terre ; et, de

là, d'innombrables combinaisons qui tendent à élargir le champ de la création animale et végétale. Les habitants de terre ferme sont souvent transportés à travers l'océan, et les tribus aquatiques sur les grandes surfaces continentales. « Il est certain que les espèces terrestres et fluviatiles n'ont point été exclusivement destinées aux rivières, vallées, plaines ou montagnes qui les reçurent au moment de leur création, mais encore à d'autres points habitables qui devaient se former avant leur extinction ; de même, les espèces marines ont été non-seulement créées pour les régions profondes ou les bas-fonds de l'océan qui existaient au temps de leur apparition, mais aussi pour d'autres étendues d'habitat qui pouvaient être submergées ou différemment modifiées dans leurs profondeurs, pendant le temps que ces espèces avaient à vivre sur le globe (1). »

Couches du Nouveau Pliocène du Val Supérieur de l'Arno. — Quand on descend l'Arno à partir de 16 kilomètres au-dessus de Florence, on arrive à une vallée étroite et profonde, appelée Val Supérieur de l'Arno, présentant de prime abord les caractères d'un ancien lac, qui aurait existé à l'époque où la vallée, au-dessous de Florence, était un bras

(1) Les trois dernières pages, *sur les couches du Nouveau Pliocène de Sicile*, sont reproduites mot à mot, telles qu'elles parurent, il y a trente ans, dans la première édition des *Principes de Géologie* (vol. III, p. 115 ; 1833). La dernière phrase, entre guillemets, indique que j'adhérais alors à la théorie suivant laquelle chaque espèce, créée dès l'origine telle qu'elle existe aujourd'hui, était dans l'impossibilité de varier et de passer dans une espèce nouvelle et distincte. Dans mon ouvrage récent sur les preuves géologiques de l'antiquité de l'homme, j'ai montré (chap. XXI à XXIV) que la théorie de sélection naturelle de M. Darwin faisait disparaître la plupart des difficultés principales qui contrariaient la doctrine de transmutation de Lamark, et eussé-je été aussi porté qu'aujourd'hui à embrasser, en 1833, l'opinion de M. Darwin, que je me serais exprimé un peu différemment. Mais j'ai pensé qu'il valait mieux ne pas refondre un passage qui a été si souvent cité, par les auteurs opposants ou approbateurs. La proposition principale qui paraissait si effrayante en 1833, à savoir : que les espèces en général peuvent être plus anciennes que les terres et les mers qu'elles habitent, est maintenant admise par presque tous les géologues, par ceux qui adoptent la théorie de la modification indéfinie de l'organisation des espèces, sous l'influence de conditions nouvelles dans le monde animé et inanimé, comme par ceux qui la rejettent.

de mer. Les couches lacustres de ce bassin élevé sont horizontales et ont une étendue de 19 kilomètres de long sur 3 kilomètres de large ; elles occupent une excavation creusée dans les roches de l'Éocène et du Crétacé, qui forment sur toutes les faces de la vallée des stratifications fortement inclinées. L'épaisseur des lits les plus modernes et discordants est d'environ 230 mètres. La partie supérieure de ces lits, sur une épaisseur de 50 mètres, consiste en couches du Nouveau Pliocène, tandis que les couches du lit inférieur appartiennent à la période du Vieux Pliocène. Les séries récentes se composent de sables et d'un conglomérat appelé *sansino*, et l'on remarque parmi les mammifères fossiles enfouis, les *Mastodon arvernensis*, *Elephas meridionalis*, *Rhinoceros etruscus*, *Hippopotamus major*, et des restes des genres ours, hyène et félis.

Dans ces mêmes couches supérieures, on a trouvé, d'après M. Gaudin, des feuilles et cônes du *Glyptostrobus europæus*, plante de la même famille que le *G. heterophyllus* qui croît aujourd'hui dans le nord de la Chine et du Japon. Ce conifère doit avoir végété longtemps sur de vastes étendues, car, après avoir été rencontré déjà dans les couches du Miocène Inférieur de la Suisse, il devient très-commun à Œningen, dans le Miocène Supérieur, comme on le verra dans la suite (Chap. XV).

Couches du Nouveau Pliocène d'Angleterre. — C'est dans les comtés du Norfolk, du Suffolk et de l'Essex, que l'on obtient les renseignements les plus précieux sur les couches du Pliocène des îles Britanniques, vieux ou nouveau. Le mot *crag* désigne, dans les provinces de ces comtés, ces masses de sable coquillier qui sont employées depuis des temps très-anciens en agriculture, pour fertiliser les sols pauvres en carbonate de chaux.

Dans le Suffolk, ces couches se divisent en inférieures, Crag Blanc ou Corallin, et en supérieures, Crag Rouge (1); mais la division inférieure occupe une étendue très-limitée, et le Crag Rouge repose directement et sans interposition du

(1) Voir le mémoire de E. Charlesworth, Esq. ; *London and Ed. Phil. Mag.*, n° XXXVIII, p. 81, août 1835.

Corallin sur des couches plus anciennes, comme dans l'Essex, par exemple, où la position du Crag Rouge par rapport à l'Argile de Londres (dépôt Éocène) et à la craie est expliquée par le dessin ci-joint. Les deux crags, le Rouge et le Blanc, appartiennent dans cette région, comme nous le verrons

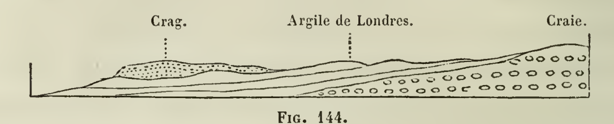


Fig. 144.

dans la suite, à la période du Vieux Pliocène, tandis qu'un dépôt plus moderne, existant dans le voisinage de Norwich, doit être rapporté au Nouveau Pliocène. Il consiste en lits de sables incohérents, de limon et de gravier qui sont mis à nu sur les deux rives de la Yare, près de Norwich. Comme ces lits contiennent un mélange de coquilles marines, terrestres et d'eau douce, avec des ichthyolithes et des os de mammifères, il est clair qu'ils se sont accumulés sur le fond de la mer, près de l'embouchure de la rivière. Ils forment des lambeaux d'épaisseur variable, reposant sur la craie blanche, et ils sont recouverts par une masse épaisse et stratifiée de gravier siliceux. La surface de la craie est souvent perforée jusqu'à la profondeur de plusieurs centimètres par la *Pholas crispata*, dont chaque coquille se retrouve encore au fond de sa cavité cylindrique, maintenant remplie par un sable de meuble provenant du crag placé au-dessus. Cette espèce de Pholade existe encore et perfore les roches, entre les hautes et basses eaux, sur la côte d'Angleterre. Les coquilles les plus

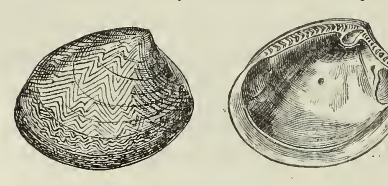


Fig. 145. — *Nucula Cobboldiæ.*



Fig. 146. — *Natica helicoïdes* (Johnston).

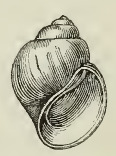


Fig. 147. — *Tellina obliqua.*

communes du Crag, telles que *Fusus striatus*, *F. antiquus*, *Turritella communis*, *Cardium edule* et *Cyprina Islandica*, abondent aujourd'hui dans les mers Britanniques, mais à côté sont quelques espèces éteintes, telles que *Nucula Cobboldiæ* (fig. 145) et *Tellina obliqua* (fig. 146). La *Natica helicoïdes* (fig. 147) fournit l'exemple d'une espèce d'abord connue seulement à l'état fossile, mais qui, depuis, a été trouvée vivante dans nos mers. J'ai vu dernièrement, au British Muséum, une coquille vivante de l'île Vancouver, qui a des points de ressemblance si frappants avec la *N. Cobboldiæ*, que plusieurs géologues la considèrent simplement comme une variété marquée du même genre.

On trouve le Crag de Norwich reposant sur la craie dans les falaises entre Weybourne et Cromer, et sur plusieurs points de l'intérieur dans la direction de l'Ouest. Chillesford, près d'Oxford, dans le Suffolk, est le seul endroit où l'on ait rencontré des lits, directement superposés sur le Crag Rouge, et contenant les coquilles particulières à cette formation. Mais il n'est pas nécessaire d'invoquer la superposition directe pour prouver que le dépôt du Norwich est beaucoup plus moderne que le Crag Rouge, puisque la proportion des espèces récentes est comparativement plus grande que celle des espèces éteintes dans les lits du Norwich, le nombre de ces premières espèces montant, d'après les dernières recherches, à 89 pour 100, tandis que dans le Crag Rouge il ne s'élève pas au-dessus de 60 pour 100.

Parmi les restes de mammifères associés à ces coquilles, on remarque ceux d'un Mastodonte, dont M. Wigham a découvert à Portwick, près de Norwich, une portion de la mâchoire inférieure avec une dent ; on a également signalé cette espèce dans le Crag Rouge, à Sulton et à Felixstow, et elle est encore regardée jusqu'à ce jour comme particulière à la période du Miocène Supérieur ou Falunienne. Adoptant cette manière de voir, et donnant à l'espèce le nom de *M. angustidens*, sur l'autorité du Professeur Owen, j'avais pensé que ces restes provenant de couches plus anciennes, d'où ils

auraient été entraînés dans le Crag, offraient ainsi une certaine analogie avec le mélange de fossiles de l'argile de Londres et de la craie au sein du même dépôt. Mais le Docteur Falconer, qui a consacré de nombreuses années à l'étude des Proboscidiens et fossiles récents, a montré que ce fossile est une espèce Pliocène ; il a été observé pour la première fois en Auvergne, par MM. Croizet et Jobert, et nommé par eux *Mastodon arvernensis.* Cuvier n'a pas adopté ce nom, il n'avait connu de l'animal qu'un très-petit nombre de spécimens pro-



Fig. 148. — *Mastodon arvernensis* (du Crag de Norwick, à Postwick, et aussi du Crag Rouge, voy. p. 326). — Troisième molaire de lait, côté gauche, mâchoire supérieure ; surface de broiement; grandeur naturelle. Nouveau Pliocène.

venant d'Auvergne, et il l'avait confondu avec le *M. angustidens.* Aujourd'hui que l'on possède deux squelettes entiers de chacun de ces fossiles, on les rapporte à deux sous-genres distincts. Le fossile du Crag appartient au *Tetralophodon* de Falconer, sous-genre dont on connaît cinq espèces, et ainsi nommé parce que la pénultième vraie molaire est ornée de quatre crêtes, de même que les deux dents placées immédiatement devant cette dernière dans les deux mâchoires. Le *Mastodon angustidens*, d'un autre côté, se range avec six autres espèces dans la section appelée *Trilophodon*, dans laquelle les dents analogues aux précédentes montrent chacune trois crêtes. Ce Mastodonte, suivant MM. Lartet et Falconer, est caractéristique des Faluns de Touraine aussi bien que de

Sansan, au pied des Pyrénées, et de diverses autres localités Miocènes.

Le *Mastodon arvernensis* est, d'après le Docteur Falconer, la seule espèce du genre que l'on ait constatée jusqu'à présent en Angleterre. Il abonde avec l'*Hippopotamus major* dans les couches du Pliocène du Val de l'Arno, ainsi que dans le Piémont et à Montpellier. On peut, par conséquent, le considérer comme une espèce Pliocène caractéristique en Italie, en France, et généralement en Europe.

On n'a jamais observé ce Mastodonte dans le lit forestier de Cromer mentionné ci-dessus p. 259, mais plusieurs des mammifères de ce dépôt, y compris l'*Elephas meridionalis*, sont communs aux lits de Norwich et aux lits plus anciens ou Crag Rouge. Quant au Crag de Norwich, il est maintenant certain que la proportion des coquilles vivantes qu'il contient, comparée à celle des espèces éteintes, est beaucoup plus grande qu'on ne l'avait supposé, car la plupart des espèces perdues que l'on rattachait autrefois à cette formation ne présentent que des spécimens usés, rares, et qui ont été évidemment entraînés par les eaux du Crag Rouge dans les couches plus récentes. D'autres espèces, de date vraiment contemporaine, et que l'on croyait éteintes, ont été rencontrées vivantes dans les mers Britanniques, où elles sont devenues excessivement rares. D'après les dernières recherches de M. S. P. Woodward, il semble prouvé que le nombre des espèces éteintes ne surpasse pas 11 pour 100.

Lits de Chillesford. — A Chillesford, près de Woodbridge, dans le Suffolk, on a reconnu que le Crag de Norwich reposait sur le Crag Rouge ; et, dans ce cas, les couches du Nouveau Pliocène sont argileuses et possèdent une épaisseur d'environ 6 mètres. MM. Prestwich et Searles Wood y ont obtenu 23 espèces de coquilles, dont 2 seulement sont éteintes, *Nucula Cobboldiæ* et *Tellina obliqua*. Les autres, d'espèces vivantes, telles que *Leda lanceolata*, *Cardium groenlandicum*, *Lucina borealis*, *Cyprina islandica*, *Panopæa norvegica*, et *Mya truncata*, dénotent un caractère septen-

trional et même arctique pour la plupart. On a d'excellents motifs de croire que les lits de Chillesford sont plus anciens que le lit forestier de Cromer, et quand on considère que ces fossiles se rencontrent à 128 kilomètres de Londres, dans le 52e parallèle de latitude, on voit en eux la preuve que l'époque glaciaire a commencé avant la fin de la période Post-pliocène (1).

Lits de Bridlington. — A Bridlington, sur la côte du Yorkshire, près de Flamborough-Head, à 54° de latitude N., on rencontre un autre dépôt à peu près du même âge que les lits de Chillesford, et par conséquent plus ancien que le forestier de Cromer, bien qu'il soit un peu plus moderne que le Crag de Norwich, précédemment décrit, car il contient une plus grande porportion de coquilles récentes. La composition de ce dépôt est hétérogène, et consiste en sable et argile, avec des galets de diverses roches, dont les plus abondantes sont la craie et le silex. La couleur dominante ressemble à celle de l'argile de Londres. M. S. P. Woodward a pu dernièrement, en étudiant les collections de MM. Bean et Leckenley, de Scarborough, ajouter 32 espèces aux fossiles de cette formation, et porter le nombre total de la liste à 64, dont 4 seulement éteintes (2), savoir, *Natica occlusa*, *Cardita analis*, *Nucula Cobboldiæ*, et *Tellina obliqua*, ce qui donne une proportion de 6 pour 100 d'espèces éteintes au lieu de 11, comme dans les lits de Norwich, sur la Yare. Sur le total de 64 coquilles, 36 sont particulières au Crag de Norwich, et 12 à celui de Bridlington, ou bien ne s'étaient jamais présentées dans aucuns dépôts glaciaires ou pliocènes de la Grande-Bretagne. Le fait le plus remarquable, c'est que sur les 60 espèces restantes, abstraction faite des formes éteintes, il n'en est pas moins de 30 qui habitent les régions arctiques, et qu'aucune ne se trouve dans les mers Britanniques du sud, circonstance d'autant plus singulière que Bridlington est situé à 54° de latitude N. On verra dans le chapitre suivant

(1) *Antiquité de l'homme*, par Lyell, p. 212.
(2) *Geol. Mag.*, Août, 1864.

que le froid alla graduellement en augmentant, à partir de la formation du Crag Blanc, et qu'il acquit une intensité plus grande dans la période du Crag Rouge, et bien plus grande encore dans celle de la formation de Norwich, durant laquelle il dut y avoir plusieurs oscillations de température. Le refroidissement semblerait avoir atteint son maximum et s'être développé sur une plus large surface en Europe, pendant les périodes Post-pliocènes. On peut dire, sans doute, que les coquilles du Moel Tryfaen, trouvées à une hauteur de près de 420 mètres au-dessus du niveau de la mer, à 53° de latitude N., presque la même que celle de Bridlington, n'impliquent pas un froid aussi grand que les coquilles de cette dernière localité, car elles contiennent seulement 11 coquilles sur 54, ou le 1/5 du nombre total, d'un caractère exclusivement arctique, tandis qu'il y en a près de la moitié de ce caractère, dans le cas de Bridlington. Mais la Faune du Moel Tryfaen ne fait pas ressortir le froid extrême de la période glaciaire aussi bien que les lits d'Errol et d'Élie, sur les bords de la Tay et du Forth, voir p. 247.

COUCHES DU VIEUX PLIOCÈNE.

Crag Rouge de Suffolk. — Le Crag de Suffolk se divise, comme nous l'avons déjà dit, en Crag Rouge ou supérieur, en Crag Blanc ou inférieur (1).

Ces dépôts, suivant feu M. Forbes, paraissent, à en juger par les coquilles qu'ils contiennent, avoir été formés d'ordinaire dans une mer de profondeur moyenne, 15 à 25 brasses, plus considérable peut-être en quelques endroits. On ne peut cependant pas appeler ces dépôts littoraux, car leur faune comprend des espèces qui s'éloignent de 50 à 60 kilomètres des terres. Le Crag Rouge ou supérieur consiste principalement en sable quartzeux, avec mélange accidentel de coquilles roulées, quelquefois même triturées. Le Crag Rouge se reconnaît à la couleur ferrugineuse foncée ou ocreuse de ses

(1) Voir le mémoire de E. Charlesworth, Esq.; *London and Ed. Phil. Mag.*, n° XXXVIII, p. 81. Août, 1835.

sables et fossiles ; le Crag Corallin se distingue par sa couleur blanche. Les deux formations sont d'épaisseur moyenne : le Crag Rouge dépasse rarement 12 mètres, et le Crag Corallin 6 mètres. Toutefois leur importance ne doit point être estimée par l'épaisseur des couches ou par leur étendue géographique, mais par leur richesse extraordinaire en débris organiques appartenant à un type tout à fait particulier, qui paraît avoir caractérisé l'état de la création vivante dans le nord de l'Europe pendant la période du Vieux Pliocène.

Nous avons déjà montré (fig. 144) la position du Crag Rouge dans l'Essex, par rapport à l'argile de Londres sous-jacente et à la craie ; sur tous les points où les deux divisions se rencontrent dans le même district, le Crag Rouge est supérieur ; et dans certains cas, par exemple dans la coupe représentée fig. 149, que j'ai eu l'occasion de voir à nu en

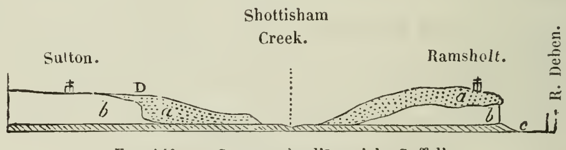


Fig. 149. — Coupe près d'Ipswich, Suffolk.
a. Crag Rouge. — *b*. Crag Corallin. — *c*. Argile de Londres.

1839, il est évident que la masse *b*, plus ancienne ou Coralline, a subi une dénudation évidente avant le dépôt de la formation plus nouvelle *a*. En D, on observe un escarpement de Crag Corallin de 2 ou 3 mètres de haut qui se dirige N.-E. et S.-O., et reçoit les bords du Crag Rouge avec ses couches horizontales; cet escarpement est en surplomb, et la roche qui le constitue est perforée sur toute son étendue par les *Pholades ;* les trous ont été plus tard remplis de sable et recouverts lorsque les nouvelles couches s'y sont déposées. Comme la formation plus ancienne doit, d'après la nature des fossiles, s'être accumulée dans une mer plus profonde (de 15 à 25 brasses ou même plus), on ne saurait douter qu'un exhaussement du fond de la mer n'ait précédé la production de l'escarpement. Une semblable dénudation n'a pu s'accomplir au

sein de matières aussi incohérentes sans qu'un grand nombre des fossiles des couches inférieures ne se soient mêlés avec le Crag sus-jacent ; aussi le paléontologiste éprouve-t-il parfois une sérieuse difficulté à séparer les espèces appartenant à chaque groupe.

Formé dans une mer bien moins profonde, le Crag Rouge ressemble souvent, par sa structure, à un banc de sable en pente ; ses couches sont inclinées diagonalement, et ses plans de stratification sont quelquefois dirigés, dans la même carrière, vers les quatre points de la boussole, comme à Butley. Ce n'est point, dans cette localité et dans plusieurs autres, une fausse apparence, due à quelque arrangement subséquent des particules concrétionnées ou à de simples lignes de couleur, car chaque couche est composée de fragments aplatis de coquilles disposés parallèlement aux plans des plus petites couches.

Certains fossiles, très-abondants dans le Crag Rouge, n'ont jamais été rencontrés dans la division blanche ou coralline :

Fossiles caractéristiques du Crag Rouge.

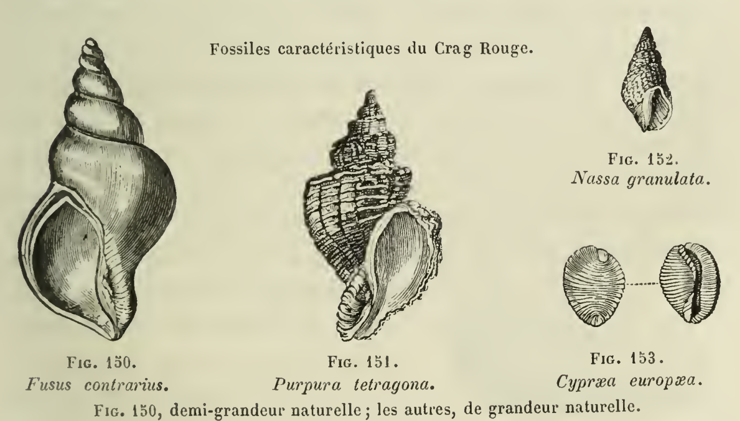


FIG. 150. *Fusus contrarius.* FIG. 151. *Purpura tetragona.* FIG. 152. *Nassa granulata.* FIG. 153. *Cypræa europæa.*

FIG. 150, demi-grandeur naturelle ; les autres, de grandeur naturelle.

ainsi le *Fusus contrarius* (fig. 150) et plusieurs espèces de *Murex* et de *Buccinum* ou *Nassa* (fig. 151 ; 152) paraissent manquer dans le Crag Inférieur.

On trouve un grand nombre de ces coquilles, en bon état de conservation, dans les falaises de Walton-on-Naze, dans

l'Essex ; plus rares à Felixstow, elles sont brisées pour la plupart.

Parmi les dents et os de poissons, on remarque ceux de grands requins (*Carcharodon*) et une raie gigantesque du genre éteint *Myliobates*, ainsi que plusieurs autres formes dont quelques-unes sont communes à nos mers et d'autres leur sont étrangères. C'est toutefois une question de savoir si ces fossiles doivent être rapportés à l'époque du Crag Rouge ; il en est qui peuvent être originaires spécialement de ces formations du Miocène Inférieur que nous décrirons dans le prochain chapitre, et qui, largement développées en Belgique, fournissent aussi en Angleterre un lambeau échappé à la dénudation (couches de Hempstead de Forbes).

La plupart des fossiles trouvés dans le Crag Rouge ont été entraînés par les eaux des couches tertiaires plus anciennes, spécialement de l'Argile de Londres. C'est particulièrement le cas dans ces lits inférieurs, qui ont été dernièrement utilisés en agriculture comme engrais, comme contenant des nodules de phosphate de chaux. Ces nodules renferment souvent des crabes et des poissons, comme ceux de l'Argile de Londres, et indiquent ainsi la date de leur origine. On rencontre avec les nodules qui renferment près de 60 pour 100 de phosphate de chaux, des galets roulés de silex, et autres de grès, contenant des débris de coquilles de Crag et une certaine quantité d'os d'oreilles de baleines. Dans le lit du même genre qui a été exploité près de Felixstow, on a découvert des dents du *Mastodon arvernensis*, du rhinocéros et du tapir. Quant aux os d'oreilles des cétacés, le Professeur Henslow a reconnu qu'ils appartiennent à deux ou trois espèces distinctes, et, suivant le Professeur Owen, aux véritables baleines de la famille des *Balænidæ* (fig. 154). M. Wood pense que ces restes datent du Crag Rouge, ou du moins qu'ils doivent provenir de la destruction des lits du Crag Corallin.

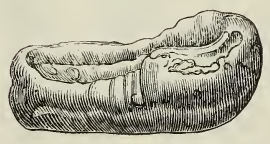


Fig. 154. — Os du tympan de la *Balæna emarginata*, Owen ; Crag Rouge (Felixstow).

Crag blanc ou Corallin. — Le Crag Inférieur ou Corallin, occupe une étendue très-limitée, 32 kilomètres de long sur 4 ou 6 de large, entre les rivières Alde et Stour. Généralement calcaire ou marneux, il se compose de coquilles, de bryozoaires (1), de petits coraux, et passe accidentellement à une pierre tendre propre aux constructions. A Sudbourn, près d'Orford, où il a ce caractère, il forme de larges carrières, profondes de 15 mètres, et qui n'ont pas encore atteint le fond de la formation. Sur quelques points du voisinage, on trouve, intercalés dans la masse plus tendre, du calcaire dur en plaques minces et des bryozoaires conservant encore leur direction verticale primitive.

C'est de l'abondance de ces bryozoaires ou mollusques coralloïdes que le Crag Blanc ou inférieur a tiré son nom vulgaire, mais les véritables coraux, ou zoanthaires, comme on les appelle aujourd'hui, sont très-rares dans cette formation.

La différence qui existe entre les fossiles du Crag Corallin et ceux du Crag Rouge vient de leur âge, et en même temps des conditions géographiques du fond sous-marin qui leur servait d'habitation. Le développement considérable des bryozoaires et des échinides, la prodigieuse variété des testacés, impliquent une eau plus profonde et plus tranquille, tandis que le Crag Rouge a pu se déposer ultérieurement sur le même point lorsque les eaux furent plus basses. Le climat devenant un peu plus froid, quelques-uns des zoophytes qui vivaient dans la première période auront disparu, de telle sorte que la faune du Crag Rouge acquit un carac-

(1) Ehrenberg a proposé, en 1831, le mot *Bryozoum*, ou *Animal-mousse* pour désigner la forme molluscoïde ou ascidienne des polypes caractérisés par deux ouvertures du sac digestif, comme les *Eschara*, *Flustra*, *Retepora* et autres zoophytes vulgairement compris dans les coraux, mais aujourd'hui classés parmi les mollusques par les naturalistes. Le mot *Polyzoum*, synonyme de *Bryozoum*, a été, je crois, proposé en 1830, ou l'année auparavant, par M. J.-V. Thompson ; mais il est moins généralement adopté. Les *Zoanthaires* de Milne Edwards et Haime, ou véritables coraux, n'ont qu'une ouverture à l'estomac.

tère qui se rapproche un peu plus de celui de nos mers du Nord. Cette similitude ressort de l'abondance remarquable de certaines sections des genres *Fusus*, *Buccinum*, *Purpura* et *Trochus*, propres à des latitudes plus hautes, et qui manquent ou ne sont que faiblement représentés dans le crag inférieur.

Quelques-uns des coraux et bryozoaires du crag inférieur de Suffolk appartiennent à des genres inconnus dans la création vivante et sont d'une structure tout à fait particulière; tel est celui que présente la figure 155 ; c'est

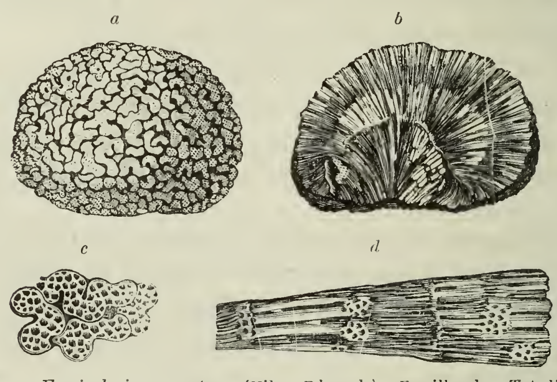


FIG. 155. — *Fascicularia aurantium* (Milne Edwards). Famille des *Tubulipores*, du même auteur. Bryozoaire d'un genre éteint, provenant du Crag Inférieur ou Corallin (Suffolk).

a. Extérieur. — *b*. Coupe verticale de l'intérieur. — *c*. Partie de l'extérieur, grossie. — *d*. Portion de l'intérieur, grossie, montrant qu'il est formé de tubes longs, minces et étroits, rénnis en faisceaux coniques.

l'un des genres nombreux qui offrent une forme globulaire. Le grand nombre et la variété de ces zoophytes indiquent un climat probablement uniforme et exempt des grands froids de l'hiver. D'un autre côté, la chaleur n'aurait jamais été non plus excessive, et nous en avons une preuve dans la prédominance des formes septentrionales des testacés, tels que *Glycimeris*, *Cyprina* et *Astarte*. Du genre ci-dessus mentionné (fig. 156), on compte environ quatorze espèces dont plusieurs sont nombreuses en individus; on remarque l'absence des genres particuliers aux climats chauds, tels que

Conus, *Oliva*, *Mitra*, *Fasciolaria*, *Crassatella* et autres. La coris (*Cypræa*, fig. 153) est petite aussi, et appartient à une catégorie (*Trivia*) qui habite aujourd'hui les régions plus froides. Une grande volute, appelée *Voluta Lamberti*

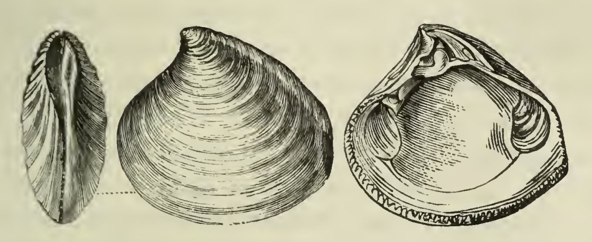


FIG. 156. — *Astarte* (*Crassina*, Lam.) ; espèces communes aux Crags Supérieur et Inférieur. *Astarte Omalii* (Lajonkaire), syn. *A. bipartita*, Sow., Min. Con., T. 521, f. 3 ; espèce très-variable, très-caractéristique du Crag Corallin (Suffolk).

(fig. 157), semblerait une exception ; mais elle diffère par la forme des volutes de la zone torride, et peut, comme la *Voluta Magellanica* actuelle, avoir été destinée à un climat extra-tropical.

La présence, à Sutton, d'une espèce de *Lingula* (fig. 160) est digne de remarque, car ces sortes de brachiopodes semblent aujourd'hui confinés à des latitudes plus équatoriales ;

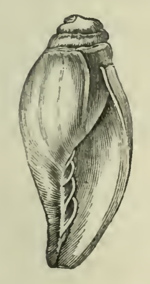


FIG. 157. — *Voluta Lamberti* ; jeune individu, Crag Corallin et Crag Rouge.

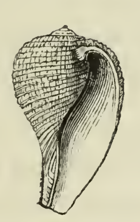


FIG. 158. *Pyrula reticulata*, Lam. ; Crag Corallin (Ramsholt).



FIG. 159. *Temnechinus excavatus*, Forbes ; *Temnopleurus excavatus*, Wood ; Crag Corallin (Ramsholt).

il en est de même d'une espèce de *Pyrula* encore plus caractéristique, et que M. Wood suppose identique avec la *P. reticulata* (fig. 158) qui vit aujourd'hui dans l'Océan In-

dien. Un genre d'échinodermes, appelé par le Professeur Forbes *Temnechinus* (fig. 159), est particulier au Crag Rouge et au Crag Corallin de Suffolk. Les seules espèces vivantes de ce genre se rencontrent dans l'Océan Indien.

Nous devons à E. Forbes l'une des conclusions les plus intéressantes qu'on puisse tirer d'une comparaison attentive des coquilles de ces couches Anglaises du Vieux Pliocène, avec la faune de nos mers actuelles. Il paraîtrait que, durant la période glaciaire, période intermédiaire, comme nous l'avons vu, entre celle du Crag et celle de nos jours, plusieurs coquilles, d'abord établies dans la zone tempérée, se retirèrent vers le sud pour fuir un climat qui ne leur convenait plus. M. E. Forbes a donné une liste de cinquante coquilles qui ont habité les mers Britanniques pendant que le Crag Corallin et le Crag Rouge étaient en voie de formation, et qui, bien que vivant encore aujourd'hui dans nos mers, manquent toutes dans les dépôts glaciaires. Après leur migration vers le sud qui aurait eu lieu pendant la période glaciaire, les coquilles seraient retournées plus tard vers le nord. A l'appui de cette opinion, M. Forbes fait ressortir que ces cinquante espèces se rencontrent toutes fossiles dans les couches du Nouveau Pliocène de Sicile, de l'Italie méridionale et de l'Archipel grec, où elles ont dû trouver, pendant la période des glaces flottantes, un climat ressemblant à celui qui caractérise aujourd'hui les latitudes d'Europe les plus élevées (1).

Les tableaux suivants ont été dressés pour moi par M. Samuel P. Woodward, ils montrent les résultats de la comparaison des listes de coquilles du Crag, que M. Searles Wood a décrites dans son excellente monographie des fossiles testacés des formations de la Grande-Bretagne. La liste des coquilles du Crag de Norwich a été corrigée et augmentée par M. Woodward lui-même. Ils prouvent clairement un refroidissement graduel du climat en Angleterre, depuis

(1) E. Forbes, *Mem. Geol. survey Gt. Brit.*, vol. I, p. 386.

l'époque des couches Pliocènes plus anciennes, jusqu'à celle des plus modernes, refroidissement qu'avait déjà admis feu Édouard Forbes, d'après l'examen du Crag, en 1846 (1).

Nombre des espèces connues de Testacés Marins dans les trois dépôts Pliocènes d'Angleterre appelés Crag de Norwich, Crag Rouge et Crag Corallin (2).

Brachiopodes	6
Conchifères	210
Gastéropodes	230
Total	436

Distribution des Testacés Marins précédents.

Crag de Norwich.	110	dont	34	particulières à ce dépôt.
Crag Rouge	219	»	43	—
Crag Corallin	317	»	188	—

Espèces communes aux

Crag de Norwich et C. Rouge (absentes du C. Corallin)	42
Crag de Norwich et C. Corallin (absentes du C. Rouge)	3
Crag Rouge et C. Corallin (absentes du C. de Norwich)	103
Crags de Norwich, Rouge et Corallin	31 (3).

Proportion entre les Espèces Récentes et les Espèces Éteintes.

	Récentes.	Éteintes.	Pour 100 Récentes.
Crag de Norwich	98	12	89
Crag Rouge	132	87	60
Crag Corallin	165	152	52

Espèces Récentes qui ne vivent plus aujourd'hui dans les mers Britanniques.

	Espèces septentrionales.	Espèces méridionales.
Crag de Norwich	15	0
Crag Rouge	11	19
Crag Corallin	1	28

Dans la liste ci-dessus, je n'ai pas compris les coquilles

(1) *Mém. Geol. Survey*; London, 1846, p. 391.

(2) Les 25 coquilles particulières à Brindlington (p. 322) ne sont pas comprises dans ces tableaux des coquilles du Crag de Norwich.

(3) Ces 31 espèces doivent être respectivement ajoutées aux nombres 42, 3 et 103, de manière à obtenir la vraie proportion des espèces *communes* dans chacun de ces cas.

des lits glaciaires de la Clyde, d'Errol, d'Élie et du Moel Trifane (p. 247 et 256), ni celles de divers autres dépôts Britanniques d'origine plus moderne que le Crag de Norwich. J'ai passé aussi sous silence, avec intention, les coquilles terrestres et d'eau douce, ainsi que celles de l'Argile de Londres, regardées comme douteuses.

Le plus grand nombre des espèces marines récentes indiquées dans ces tableaux habitent encore les mers Britanniques, mais elles varient considérablement par leur abondance relative : quelques-unes des plus communes du Crag sont extrêmement rares dans la période actuelle : par exemple, le *Buccinum Dalei;* d'autres, qu'on ne rencontre qu'en nombre très-limité à l'état fossile, sont au contraire de nos jours fréquentes : telles sont le *Murex erinaceus* et le *Cardium echinatum.*

La fin du tableau jette une vive lumière sur le changement marqué de climat qui s'est fait sentir aux trois périodes successives. On verra que, dans le Crag Corallin, se trouvent vingt-huit coquilles méridionales, parmi lesquelles vingt-six espèces Méditerranéennes, et une, des Indes occidentales (*Erato Maugeriæ*). De ces coquilles, treize seulement existent dans le Crag Rouge, associées à trois nouvelles espèces méridionales, tandis que la totalité disparaît des lits de Norwich. D'un autre côté, le Crag Corallin ne contient que deux coquilles se rapprochant beaucoup des coquilles arctiques, *Admete* et *Limopsis;* au contraire, le Crag Rouge fournit onze espèces septentrionales, toutes se reproduisant dans le Crag de Norwich, avec quatre autres, habitant aussi des régions arctiques; il y a donc tout lieu de croire qu'un refroidissement continu de climat a prévalu durant la période Pliocène en Angleterre. La présence de ces coquilles septentrionales ne saurait s'expliquer par la supposition que celles-ci auraient fréquenté les niveaux profonds de la mer ; en effet, quelques-unes d'entre elles, par exemple la *Tellina calcarea* (= *T. obliqua*) et l'*Astarte borealis*, abondamment répandues, ont quelquefois

leurs valves encore unies par les ligaments ; elles accompagnent d'autres coquilles littorales telles que *Mya arenaria* et *Littorina rudis ;* sans aucun doute, elles vécurent dans des eaux basses. Cependant le caractère septentrional du Crag de Norwich n'est pas complétement démontré par le simple fait que cette formation contient douze espèces du Nord. C'est surtout la prédominance de certaines genres et espèces, tels que *Rhynconella psittacea*, *Tellina calcarea*, *Astarte borealis*, *Scalaria groenlandica* et *Fusus carinatus*, qui conduit le conchyliologiste à voir un caractère arctique dans le Crag de Norwich. De même, c'est la présence de genres tels que *Pyrula*, *Columbella*, *Terebra*, *Cassidaria*, *Pholadomya*, *Lingula*, *Discina* et autres, qui donne un aspect méridional aux coquilles du Crag Corallin.

Pour conclure, nous ferons observer que le froid qui alla croissant depuis l'époque du Crag Corallin jusqu'à celle du Crag de Norwich continua, avec des oscillations peut-être, à sévir de plus en plus après l'accumulation de ce dernier dépôt, jusqu'à atteindre son maximum, celui de la période dite Glaciaire. La faune marine de cette dernière période contient, en Irlande et en Écosse, des espèces récentes de mollusques qui vivent aujourd'hui dans le Groënland et autres régions, à de trés-grandes distances, au Nord, des pays où nous rencontrons leurs débris à l'état fossile.

Crag d'Anvers. — On connaît depuis longtemps, dans les environs d'Anvers et sur les bords de la Scheldt, au-dessous de cette ville, des couches du même âge que le Crag Rouge ou le Crag Corallin de Suffolk. Plus de deux cents espèces de testacés y ont été recueillies par MM. de Wael, Nyst et autres, et quand je visitai Anvers, en 1851, les deux tiers de ces espèces furent identifiées par M. Wood avec les fossiles de Suffolk. Il avait reconnu, entre autres, la *Lingula Dumortieri* de Nyst (fig. 160), que j'ai moi-même trouvée en abondance, en 1851, dans le dépôt que M. de Wael

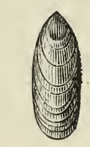


FIG. 160. — *Lingula Dumortieri*, Nyst ; Crag d'Anvers et de Suffolk.

appelle Crag Moyen. Plus de la moitié des coquilles de ce dépôt se rapporte à des espèces vivantes dont la plupart habitent nos mers septentrionales, bien qu'il s'y rencontre aussi quelques espèces méditerranéennes. J'ai trouvé dans le Crag Supérieur d'Anvers de nombreux ossements de cétacés des genres *Balænoptera* et *Ziphius*. Comme ils ne sont pas roulés, ils ne proviennent point de lits plus anciens et n'ont point été transportés par les eaux ; d'où je conclus que les animaux auxquels ils appartiennent ont coexisté dans la même mer avec les fossiles mollusques associés (1).

Les géologues belges ont reconnu trois divisions du Crag d'Anvers : la première, supérieure, ou Crag Jaune, dans lequel on connaissait 81 espèces de coquilles dont j'ai donné la liste en 1852 ; la seconde, ou Crag Moyen, avec 94 espèces connues ; et la troisième, ou Crag Noir ou Inférieur, qui avait donné 65 coquilles. Ce lit tire son nom de la couleur foncée de la masse sablonneuse, qui consiste en grains verdâtres de glauconite.

On ne saurait douter que les deux premières formations n'appartiennent à la période du Vieux Pliocène, car le Crag Jaune contient environ 60 pour 100 d'espèces récentes, tandis que le Crag Gris ou Moyen n'en renferme que 50 pour 100. Les rapports intimes de ces lits avec les Crags Rouge et Corallin de Suffolk sont également évidents ; car, dans une liste de 52 coquilles, provenant du Crag Supérieur ou Jaune et de 94 du Crag Moyen, 7 espèces seulement sont absentes dans les formations Britanniques d'un âge correspondant. Comme on devait s'y attendre, le Crag Supérieur d'Anvers concorde parfaitement avec le Crag Rouge d'Angleterre, tandis que les coquilles du Crag Moyen d'Anvers correspondent davantage avec le groupe plus ancien du Corallin de Suffolk.

Quand on arrive au Crag Inférieur ou Noir, on commence à franchir les limites des formations du Vieux Pliocène, pour

(1) Lyell, *On Belgian Tertiaries*, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1852, p. 282.

se rapprocher du Miocène. Les deux tiers seulement des coquilles concordent avec celles du Crag Corallin, et un peu moins de la moitié des espèces fossiles peuvent être identifiées avec les espèces encore vivantes. Elles paraissent former les premiers anneaux d'une chaîne qui nous permettra un jour de passer sans interruption à ces formations plus anciennes, celles du Miocène Supérieur de Belgique, dont nous traiterons dans le chapitre suivant.

Normandie. — En 1840, j'ai observé, près de Valognes en Normandie, un lambeau rempli de coquilles correspondant à celles du Crag de Suffolk ; un dépôt contenant des fossiles semblables existe à Saint-George-Bohon et en plusieurs endroits, à quelques lieues au sud de Carentan, en Normandie ; mais on n'en a jamais rencontré plus loin vers le Sud.

FORMATIONS DU VIEUX PLIOCÈNE EN ITALIE.

Couches subapennines. — Les Apennins sont, on le sait, principalement composés de roches secondaires formant une chaîne qui part des Alpes Liguriennes et traverse la péninsule Italienne. Au pied de ces montagnes, tant du côté de l'Adriatique que du côté de la Méditerranée, on trouve une série de couches tertiaires dont la majeure partie constitue, dans l'espace compris entre la chaîne plus ancienne et la mer, une ligne de collines peu élevées. Brocchi, qui le premier a décrit en détail ce groupe plus nouveau, comme nous l'avons vu p. 296, lui donne le nom de Subapennin, et a classé dans le même système toutes les couches tertiaires qui s'étendent du Piémont à la Calabre. Certains caractères minéralogiques lui semblaient communs à toute la série : les couches consistaient généralement en marne bleue ou brune, recouverte par un sable ou gravier calcaire jaune ; quelques espèces de coquilles fossiles relient ces dépôts dans toute l'Italie.

Il est aujourd'hui suffisamment prouvé que les couches Subapennines de Brocchi, bien que composées principalement de couches du Vieux Pliocène, appartiennent à diffé-

rents membres des séries tertiaires : celles, par exemple, de Superga près Turin, au Miocène ; celles d'Asti et de Parme, de même que la marne bleue de Sienne, au Vieux Pliocène. tandis que les coquilles du sable jaune supérieur se rapprochent davantage de la faune récente de la Méditerranée, et pourraient se rattacher au Nouveau Pliocène.

Nous avons vu que dans les couches du Vieux Pliocène du Suffolk, la plupart des coquilles fossiles d'espèces récentes sont identiques avec les testacés qui vivent actuellement dans les mers Britanniques, que certaines appartiennent aux espèces de la Méditerranée, et qu'un petit nombre même font partie de genres habitant des climats plus chauds. On peut donc espérer, en étudiant les fossiles d'un âge correspondant dans les contrées qui bordent la Méditerranée, de trouver des espèces et des genres de latitudes plus chaudes. C'est ce qui arrive en effet, dans les marnes de cette période ; on observe à Asti, Parme, Sienne et autres parties de la Toscane et du territoire Romain, les genres *Conus*, *Cyprea*, *Strombus*, *Pyrula*, *Mitra*, *Fasciolaria*, *Sigaretus*, *Delphinula*, *Ancillaria*, *Oliva*, *Terebellum*, *Terebra*, *Perna*, *Plicatula* et *Corbis*, les uns caractéristiques des mers tropicales, les autres représentés par des espèces plus nombreuses ou de dimensions plus grandes que celles qui sont aujourd'hui propres à la Méditerranée.

La proportion des espèces récentes aux espèces éteintes varie dans le même district, comme me le fit remarquer, en 1857, le Professeur Ponzi, dans le voisinage de Rome, suivant la place qu'occupent dans la série les différents lits de marnes et de sables superposés.

La classification de ces membres nombreux de la période Pliocène, et leur séparation de celle du Miocène, est une tâche dont l'accomplissement est appelé à exercer le talent et la persévérance des géologues Italiens, pendant plusieurs années dans l'avenir.

J'ai déjà signalé les dépôts du Nouveau Pliocène du Val Supérieur de l'Arno au-dessus de Florence, et constaté que

sous ces sables et conglomérats, contenant les restes de l'*Elephas meridionalis* associés avec ceux d'autres quadrupèdes, se trouve une série horizontale et concordante plus ancienne de lits, que l'on peut classer dans la période du Vieux Pliocène. Ils consistent en argiles bleues avec des couches subordonnées de lignite, et présentent une flore plus riche que celle des lits sus-jacents du Nouveau Pliocène, et s'éloignant de beaucoup de la végétation actuelle de l'Europe. Ils comprennent aussi plus d'espèces communes à la période Miocène antérieure. Parmi les genres de plantes, M. Gaudin énumère les *Pinus*, *Glyptostrobus*, *Taxodium*, *Sequoia*, *Ilex*, *Quercus*, *Prunus*, *Platanus*, *Alnus*, *Ulmus*, *Ficus*, *Laurus*, *Persea*, *Oreodaphne* (fig. 161), *Cinnamomum*, *Cassia*, *Acer*, *Juglans*, *Belula*, *Rhamnus*, *Carya*, *Rhus*, *Smilax*, *Sassafras*, *Psoralea*, etc.

Cette réunion de plantes indique un climat chaud, mais non aussi torride que celui de la période du Miocène Supérieur, dont nous allons parler.

M. Gaudin, conjointement avec le marquis Strozzi, a jeté une grande lumière sur la botanique des lits du même âge dans une autre partie de la Toscane, en un lieu appelé Montajone, entre les rivières Elsa et Evola. Ils y ont trouvé, entre autres plantes, l'*Oreodaphne Heerii*, Gaud. (voir fig. 161), qui n'est probablement qu'une variété de l'*Oreodaphne fœtens* ou laurier connu sous le nom de Til à Madère, où, comme dans les Canaries, il constitue en grande partie les bois du pays, mais ne peut actuellement supporter le climat d'Europe. Dans les spécimens fossiles on remarque, en état parfait de conservation, les mêmes glandes ou protubérances que l'on a observées aux aisselles des veines principales des feuilles dans le Til récent (1).

Une autre plante qui indique également un climat plus chaud, c'est le *Liquidambar europœum*, Brogn. (voir

(1) *Contributions à la Flore fossile Italienne*. Gaudin, p. 22.

fig. 162). Cette espèce se rapproche beaucoup du *L. styraciflum*, L., qui croît assez communément dans les États



Fig. 161. — *Oreodaphne Heerii.* Feuille de demi grandeur naturelle (1).

Fig. 162. — *Liquidambar europæum.* Var. *trilobatum*, A. Br. (quelquefois à 4 lobes et le plus communément à 5 lobes).

a. Feuille, demi-grandeur naturelle.
b. Partie de la même feuille, grandeur naturelle.
c. Fruit, grandeur naturelle.
d. Graine, *id.* (OEningen.)

méridionaux de l'Amérique septentrionale, sur les bords du golfe du Mexique.

Comme les feuilles de la plante en question ressemblent à celles de cette forme Américaine, tandis que son fruit, suivant Heer, est plus petit et plus analogue à celui du *Liquidambar orientale* de Syrie, la plante fossile, conformément à la doctrine de transmutation, peut bien avoir été le type primitif qui a donné naissance à ces deux variétés. Le *Liquidambar* Javanais est très-différent; la plante fossile, suivant Heer, appartient à une période variant du Vieux Pliocène au Nouveau Miocène, mais le genre a complétement disparu aujourd'hui en Europe.

Les marnes bleues de Toscane, dans les diverses localités qui ont donné la flore mentionnée ci-dessus, ont fourni

(1) Feuilles fossiles de la Toscane. Gaudin et Strozzi, pl. II, fig. 3.

36 espèces de mollusques marins, dont 16 récentes, suivant l'opinion de M. Karl Mayer.

Formations Aralo-Caspiennes. — Ce nom a été donné par Sir R. Murchisson et M. de Verneuil aux calcaires et aux couches sableuses formées dans l'eau saumâtre qui leur sont associées, et qui couvrent non-seulement de vastes étendues de pays autour des mers Caspiennes, d'Azof et d'Aral, mais encore une portion des côtes septentrionales et occidentales de la mer Noire. Les coquilles fossiles sont en partie d'eau douce, comme les *Paludina*, *Neritina*, etc., et en partie marines, de la famille des *Cardiacées* et de celle des *Mytilacées*. Elles sont en majeure partie identiques avec celles qui habitent aujourd'hui la mer Caspienne, et les espèces éteintes ont plus d'analogie de formes avec celles qu'on trouve de nos jours dans les mers intérieures de l'Asie qu'avec les types de l'océan. Le calcaire s'élève quelquefois à plusieurs centaines de mètres au-dessus de la mer; on suppose qu'il indique l'existence primitive d'une vaste nappe intérieure d'eau saumâtre, aussi large et peut-être plus large que la Méditerranée.

La proportion des espèces récentes qui se rapportent à la faune de la mer Caspienne est assez considérable pour n'avoir laissé, dans l'esprit des géologues que nous venons de citer, aucun doute sur l'âge de la roche, qu'ils appellent aussi *calcaire des steppes ;* cette roche appartient à la période Pliocène (1).

(1) *Geol of Russia*, p. 279.

CHAPITRE XIV

PÉRIODE MIOCÈNE.

Couches du Miocène Supérieur de France. — Faluns de Touraine. — Profondeur de la mer et caractère littoral de la Faune. — Climat tropical indiqué par les testacés. — Proportion des espèces récentes de coquilles. — Faluns plus anciens que le Crag de Suffolk. — Variétés de *Voluta Lamberti*, particulières aux Faluns et au Crag de Suffolk. — Les mêmes espèces sont communes à plus d'une période géologique. — Couches du Miocène Inférieur en France. — Remarques sur la classification et sur la ligne de séparation des couches de l'Éocène et du Miocène. — Rapports du grès de Fontainebleau avec les Faluns et le Calcaire Grossier. — Couches du Miocène Inférieur dans le centre de la France. — Couches lacustres d'Auvergne. — Calcaire à Induses. — Mammifères fossiles de la Limagne d'Auvergne. — Couches d'eau douce du Cantal. — Leur ressemblance sur quelques points avec la craie blanche à silex. — Preuves d'un dépôt graduel. — Couches Miocènes de Bordeaux et du midi de la France. — Miocène Supérieur du Gers. — *Dryopithecus*. — Formations Miocènes en Belgique et en Angleterre. — Lits d'Édeghem, près d'Anvers. — Sables de Diest, en Belgique, et sables ferrugineux contemporains des Downs du nord. — Miocène supérieur de Belgique. — Bolderberg. — Couches du Miocène Inférieur de Kleyn-Spawen. — Lits d'Hempstead, île de Wihgt. — Lignites de Bovey-Tracey, dans le Devonshire. — Lits à feuilles de l'île de Mull. — Formations Miocènes d'Allemagne. — Bassin de Mayence. — Miocène Supérieur du bassin de Vienne. — Miocène Inférieur de la Croatie. — Lépidoptères fossiles. — Couches Oligocènes du professeur Beyrich. — Couches Miocènes d'Italie.

COUCHES MIOCÈNES DE FRANCE. — FALUNS DU MIOCÈNE SUPERIEUR EN TOURAINE. — FORMATIONS MIOCÈNES.

Les couches que nous rencontrons les premières dans l'ordre descendant sont celles que plusieurs géologues ont appelées *Moyennes Tertiaires*, et pour lesquelles, en 1833, je proposai le nom de Miocène, choisissant comme exemple ou type les *Faluns* de la vallée de la Loire, en France.

J'appellerai maintenant ces dépôts Faluniens, Miocène Supérieur, pour les distinguer de ceux que l'on désignera sous le nom de Miocène Inférieur. Dans les dernières éditions de

cet ouvrage, j'avais classé ces derniers dans l'Éocène Supérieur, et le lecteur comprendra facilement, dans ce chapitre et dans le suivant, les motifs qui m'ont engagé à changer cette classification.

Le nom de *Faluns* a été donné par les agriculteurs français à un dépôt coquillier de sable et de marne qu'on répand à la surface du sol, en Touraine, pour fertiliser les terres, absolument comme on a fait du Crag en Suffolk. On rencontre des masses isolées de ces faluns près de l'embouchure de la Loire, dans les environs de Nantes, et plus loin dans les terres jusqu'aux environs de la contrée sud de Tours. On en trouve aussi à Pontlevoy sur le Cher, à 90 kilomètres environ au-dessus de la jonction de cette rivière avec la Loire, et à 40 kilomètres S.-E. de Tours. Des dépôts du même âge se voient également, mais avec d'autres traits minéralogiques, près des villes de Dinan et de Rennes, en Bretagne. J'ai visité toutes ces localités, et j'ai reconnu que les lits de la Loire consistent principalement en marne et en sable dans lesquels sont des coquilles et des coraux, les uns entiers, les autres roulés, d'autres en fragments ténus. Dans certains districts, comme à Doué, département de Maine-et-Loire, à 15 kilomètres S.-O. de Saumur, le dépôt constitue une pierre tendre à bâtir, principalement formée d'un agrégat de coquilles brisées, de bryozoaires, de coraux et d'échinodermes unis par ciment calcaire; la masse est tout à fait semblable au Grag Corallin des environs d'Aldborough et de Sudbourn (Suffolk). Les lambeaux épars de faluns dépassent rarement l'épaisseur de 15 mètres; entre la Sologne et la mer, ils reposent sur des roches plus anciennes, très-variées; on les voit successivement sur le gneiss, le schiste argileux, les diverses formations secondaires y compris la craie, et en dernier lieu, sur le calcaire d'eau douce supérieur des séries tertiaires Parisiennes, lesquelles, comme nous l'avons déjà dit, s'étendent sans discontinuité du bassin de la Seine à celui de la Loire.

Sur quelques points, tels qu'à Louans, au sud de Tours, les coquilles affectent une couleur ferrugineuse assez analo-

gue à celle du Crag Rouge de Suffolk. La plupart des espèces y sont marines; mais quelques-unes appartiennent à des genres terrestres et fluviatiles. Parmi les espèces terrestres, l'*Helix turonensis* (fig. 45, p. 49) est la plus abondante. Çà et là sont entremêlés des débris de quadrupèdes terrestres appartenant aux genres Dinotherium (fig. 162 *a*), Mastodonte, Rhinocéros, Hippopotame, Chœropotamus, Dichobune, Daim et autres; ils sont accompagnés de cétacés, tels que le Lamantin, le Morse, le Veau marin et le Dauphin, tous d'espèces éteintes.



FIG. 162 *a*.
Dinotherium giganteum, Kaup.

M. E. Forbes, d'après l'examen des testacés fossiles, considère ce dépôt comme formé en partie sur la plage même, au niveau des basses eaux, et en partie à des profondeurs plus considérables, mais qui n'auraient pas dépassé 18 mètres. La faune mollusque des *faluns* est, en somme, beaucoup plus littorale que celle du Crag Rouge et du Crag Corallin de Suffolk, et suppose une mer beaucoup moins profonde; elle s'en distingue encore par l'indication qu'elle fournit d'un climat étranger à l'Europe. On y rencontre, en effet, sept espèces de *Cypræa*, quelques-unes plus grandes qu'aucune de celles qui existent dans la Méditerranée; plusieurs espèces d'*Oliva*, *Ancillaria*, *Mitra*, *Terebra*, *Pyrula*, *Fasciolaria* et *Conus*. On n'y compte pas moins de huit espèces de cônes, dont quelques-unes très-grandes, tandis que le seul cône Européen est de petite taille. Le genre *Nerita* et plusieurs autres sont aussi représentés par des individus d'un type aujourd'hui caractéristique des mers équatoriales et tout à fait différent des formes Méditerranéennes. Ces preuves d'une température plus élevée semblent assigner aux faluns un âge relativement plus ancien que celui du Crag de Suffolk; elles concordent parfaitement avec la proportion

plus faible de testacés d'espèces récentes que renferment ces faluns.

Sur 290 espèces de coquilles que j'ai recueillies moi-même en 1840, à Pontlevoy, Louans, Bossée et autres villages, à 32 kilomètres au sud de Tours, ainsi qu'à Sévigné, à environ 20 kilomètres N.-O., 72 seulement, soit 25 pour 100, peuvent être identifiées avec les espèces récentes. Sur les 290 espèces, la plupart sont communes à tous les points explorés; les espèces particulières à chaque localité ne sont pas plus nombreuses qu'on ne l'observe ordinairement dans les différentes baies d'une même mer.

Sur les 302 espèces de mollusques testacés des faluns que je possède, M. Wood n'en a trouvé que 45 qui fussent communes au Crag de Suffolk. Les coraux, y compris les bryozoaires et les zoanthaires que j'ai recueillis à Doué et dans les autres localités, s'élèvent à 43 d'après les déterminations de M. Lonsdale, et, sur ce nombre, 7 (parmi lesquels un zoanthaire) se rapportent spécifiquement à ceux du Crag de Suffolk. Une seule espèce a pu jusqu'à présent être rapportée à un type vivant, mais il est difficile, même après les travaux de MM. Dana, Milne Edwards, Haime et Lonsdale, d'établir une comparaison satisfaisante entre les zoanthaires et les bryozoaires récents et fossiles. Quelques-uns des genres qui se rencontrent à l'état fossile en Touraine, comme les *Astrea*, les *Dendrophillia*, les *Lunulites*, n'ont point été retrouvés dans les mers d'Europe, au nord de la Méditerranée; néanmoins les zoanthaires des faluns ne semblent point indiquer un climat aussi chaud que le comporteraient les coquilles.

En comparant environ 300 espèces de coquilles de Touraine avec 450 du Crag de Suffolk, on a trouvé que 45, soit 15 pour 100 seulement, étaient communes aux deux formations. La même proportion existe pour les coraux. J'avais d'abord essayé d'expliquer cette différence entre les espèces, par la coexistence de deux faunes qui auraient appartenu à des provinces zoologiques distinctes ou à deux mers ouvertes,

l'une au nord et l'autre au sud, et séparées par une barrière analogue à l'isthme de Suez qui sépare la mer Rouge de la Méditerranée; mais plusieurs raisons me font abandonner aujourd'hui cette opinion. C'est ainsi qu'après avoir suivi, en 1841, la faune du Crag vers le sud en Normandie, jusqu'à 112 kilomètres du type falunien près de Dinan, j'ai trouvé que les deux ensembles de fossiles conservaient leurs caractères distinctifs, et ne présentaient aucun mélange d'espèces ou de transition du climat.

D'après la comparaison de 280 coquilles de la Méditerranée avec 600 espèces d'Angleterre, faite en 1841 par un habile conchyliologiste, 160 espèces ont été jugées communes aux deux collections, ce qui donne la proportion de 57 pour 100, et une ressemblance spécifique quatre fois plus grande qu'entre les mers du Crag et des faluns, bien que la distance qui sépare l'Angleterre de la Méditerranée soit plus considérable que celle qui existe entre le Suffolk et la Loire. Toutefois, le principal motif qui engage à rapporter le Crag d'Angleterre aux Vieux Pliocène, et les Faluns de France aux époques du Miocène Supérieur, c'est la prédominance, au sein des couches d'Angleterre, de coquilles fossiles identifiables avec des éspèces qui habitent encore aujourd'hui les mers voisines, tandis que les espèces éteintes qui les accompagnent apprtiennent à des genres qui caractérisent l'Europe. Dans les faluns, au contraire, les espèces récentes sont en minorité marquée, et beaucoup d'entre elles habitent aujourd'hui la Méditerranée, la côte d'Afrique et l'Océan Indien ; en un mot, elles sont moins septentrionales par leurs caractères, et elles auraient une tendance à se rapporter à un climat plus chaud. Elles indiquent un état de choses qui s'éloigne davantage des conditions actuelles de l'Europe centrale, relativement au climat et à la géographis physique, et qui, sans aucun doute, remonte plus loin vers les temps anciens.

Parmi les coquilles remarquables qui sont communes aux faluns de la Loire et au Crag de Suffolk, on doit signaler *Voluta Lamberti*, déjà mentionnée, p. 329. Tous les spéci-

mens de cette coquille, tant ceux que j'ai recueillis en Touraine que ceux que j'ai vus dans les musées, sont plus épais et plus gros que les individus Britanniques de la même espèce ; leur longueur n'est pas proportionnelle à leur largeur et leurs plis sur la columelle sont moins obliques, comme on peut le voir dans les figures suivantes.

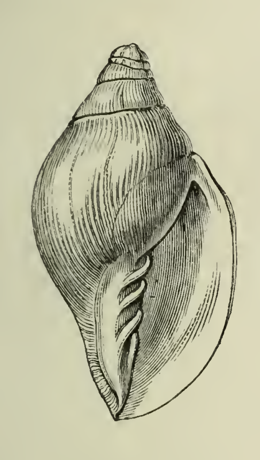


Fig. 162 *b*. — *Voluta Lamberti*. Variété caractéristique des Faluns de Touraine. Miocène.

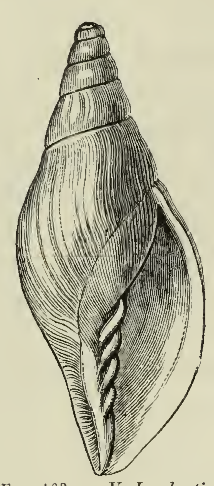


Fig. 163. — *V. Lamberti*. Variété caractéristique du Crag de Suffolk. Pliocène.

M. Searles Wood a parfaitement apprécié ces différences constantes, et je crois qu'il a considéré avec raison les deux formes comme de pures variétés, ou races d'une seule et même espèce. Il est toutefois étonnant que feu Alcide d'Orbigny (1), qui établit si souvent des espèces en se fondant sur des différences très-légères, ait partagé la même manière de voir. Il est bien probable qu'il aurait agi différemment, s'il n'avait pensé que le Crag de Suffolk était identiquement du même âge que les Faluns de la Loire, ignorant combien ce dernier différait, sous tant de rapports importants, du dépôt Français, surtout lorsqu'on le compare avec la Faune vivante de la mer voisine. Ce naturaliste partageait la doctrine de

(1) A. d'Orbigny, *Cours élémentaire de Paléontologie*, vol. II, p. 793, 797, 1852.

ceux qui ont professé qu'il existe une différence complète entre les espèces fossiles des diverses périodes immédiatement consécutives dans l'ordre chronologique. S'il eût classé les Faluns dans le Miocène et le Crag de Suffolk dans le Pliocène, il eût évité d'assimiler deux formes si faciles à distinguer; et ce qui nous autorise à émettre cette opinion, c'est sa persistance à fermer les yeux sur la concordance spécifique de toutes les coquilles faluniennes avec des coquilles vivantes, et, chose encore plus remarquable, à ne vouloir admettre l'existence que de quarante-quatre espèces récentes sur quatre cent trente-sept dans son groupe récent ou Subapennin. Il divisait toute la série tertiaire en cinq périodes, dont chacune, dans son opinion, marquait une ère de repos dans la formation de la surface terrestre. A la fin de ces périodes, tous les êtres vivants auraient été anéantis par une grande catastrophe, et un nouveau système de formes aurait ensuite repeuplé la terre. Forcé même d'admettre qu'un ou deux fossiles sur cent avaient passé d'une formation à l'autre, il ne pouvait s'empêcher d'attribuer cette légère conformité au transport par les eaux des coquilles mortes, d'une couche ancienne dans une couche plus nouvelle. Cette doctrine d'une distinction absolue des espèces dans les formations qui se suivent dans l'ordre de succession mériterait à peine d'être mentionnée aujourd'hui qu'elle est généralement rejetée par les plus savants géologues, n'était la grande habileté avec laquelle elle a été soutenue par ses partisans. Lorsque de l'aveu général les coquilles sont impossibles à distinguer, on a quelquefois prétendu qu'il serait facile d'en saisir les caractères différentiels, si les parties molles de l'animal avaient pu être conservées. D'un autre côté, il n'est pas sans intérêt de remarquer avec quelle facilité les paléontologistes, d'un mérite incontestable, peuvent, lorsqu'ils sont sous l'influence d'une théorie, analogue à celle que nous avons signalée, trouver des distinctions spécifiques dans des sujets où il n'en existe aucune, ou bien ne donner aux mêmes individus que la simple valeur d'une variété.

Les deux dispositions différentes, représentées dans les deux figures 162 *b* et 163, peuvent être considérées par les mêmes zoologistes comme de simples races ou variétés géographiques, tant qu'ils croiront que ces deux coquilles appartiennent exactement au même âge ; mais elles passeront au rang d'espèces, si l'une est rapportée à la période Miocène, et l'autre à la période Pliocène. On a trouvé parfois dans le Crag Corallin des spécimens de cette volute qui sert à relier la forme provenant de la Touraine à celle du Crag Rouge, mais il arrive souvent, dans ce cas, qu'il n'existe aucune formation d'un âge intermédiaire, que, par suite, on peut perdre toute trace des gradations successives, et qu'il ne reste plus de preuve d'une transition d'une forme à l'autre et d'une descendance commune pour les deux coquilles. Soit qu'ils adoptent ou qu'ils rejettent la théorie de l'origine des espèces par la sélection naturelle, les zoologistes, pour être conséquents avec eux-mêmes, sont encore liés en ce qui concerne le degré de déviation de certains types qui sera jugé suffisant pour constituer une différence spécifique.

Il est assez difficile d'arriver à des conclusions philosophiques lorsque les caractères qui servent de base sont strictement empruntés aux formes externes et aux particularités internes des individus ; mais, si l'on peut établir les déterminations spécifiques sur des considérations géologiques ou géographiques, on a raisonnablement tout espoir d'obtenir des résultats fondés et sérieux.

COUCHES DU MIOCÈNE INFÉRIEUR EN FRANCE.

Remarques sur la classification et sur la ligne de séparation des couches de l'Éocène et du Miocène. — Nous avons déjà dit dans la description des Faluns marins de la vallée de la Loire, qu'ils reposent, en certains endroits, sur un calcaire tertiaire d'eau douce, dont des fragments détachés ont roulé sur les plages et dans le lit de la mer Miocène. On trouve fréquemment à Pontlevoy, sur le

Cher, de semblables galets, percés de trous qui contiennent encore les coquilles marines de la période Falunienne qui les ont perforés. Un tel mode de superposition suppose un intervalle de temps entre l'origine du calcaire d'eau douce, et sa submersion par les eaux de la mer du Miocène Supérieur. Le calcaire en question constitue une partie de la formation appelée Calcaire de la Beauce, qui forme un vaste plateau entre les bassins de la Loire et de la Seine. Il est associé à des marnes et autres dépôts, analogues à ceux qui se produisent dans les marais et dans les lacs peu profonds de la portion la plus récente d'un grand delta. Des lits de silex, continus ou en nodules, sont accumulés dans ces lacs, et des plantes aquatiques, appelées *Charæ*, ont laissé leurs tiges et leurs péricarpes inscrustés dans la marne et le silex, avec des coquilles terrestres et d'eau douce. Certaines roches siliceuses de cette formation sont exploitées sur une grande échelle pour la confection des meules à moulin. Les plates-formes des collines autour de Paris, de vastes surfaces dans la forêt de Fontainebleau, et le plateau de la Beauce, que nous avons déjà cité, sont principalement composés de ces couches d'eau douce. Immédiatement après, dans un ordre descendant, viennent les sables marins et le grès, communément appelé Grès de Fontainebleau, d'où on a obtenu un nombre considérable de coquilles, très-distinctes de celles des Faluns, à Étampes, au sud de Paris, à Montmartre et autres collines situées dans Paris même, ou dans ses faubourgs. On rencontre au fond de ces sables une argile verte, contenant une petite huître, *Ostrea cyathula*, L., qui, bien que d'une faible épaisseur, est répandue sur une vaste surface. Cette argile repose immédiatement sur le gypse de Paris, ou série de lits de gypse et de marne gypseuse dont Cuvier retira le premier plusieurs espèces de Paleotherium et d'autres mammifères éteints (1). C'est là que la majeure partie des géologues Français ont toujours tracé la ligne de

(1) Voir plus bas, chap. XVI.

démarcation entre les formations tertiaires moyennes et inférieures, ou entre le Miocène et l'Éocène, prenant les sables de Fontainebleau et l'argile de l'*Ostrea cyathula* comme base du Miocène, et le gypse avec ses mammifères, comme le sommet du groupe Éocène. Je n'adoptais pas autrefois cette méthode de classification, admettant avec M. Deshayes, que les fossiles des sables marins paraissaient se rapporter beaucoup plus aux formations de l'Éocène sous-jacent qu'aux Faluns plus modernes de la Touraine. Dans son ouvrage classique sur les coquilles fossiles des environs de Paris (1824-37), M. Deshayes a décrit vingt-neuf espèces des sables de Fontainebleau, dont quelques-unes pouvaient être identifiées avec les fossiles appartenant au Calcaire Grossier plus ancien, attendu qu'aucun d'eux n'avait de rapport avec les Faluns de Touraine. Le même savant insistait sur l'aspect général ou *facies* de la Faune qui offre une bien plus grande ressemblance avec les testacés d'un groupe plus ancien ou de l'Éocène qu'avec ceux des Faluns.

En 1833, quelques années après la publication de mes *Principes de géologie*, les directeurs de la carte géologique officielle de France, MM. Dufrenoy et E. de Beaumont comprirent le gypse de Paris dans le groupe Éocène, et les sables marins sus-jacents ainsi que le Calcaire de la Beauce dans le Miocène; ils considéraient les Faluns de Touraine comme constituant une division supérieure de la même série Miocène. M. d'Archiac, en 1839, suivit le même mode de classification, et, en 1852, M. d'Orbigny classa, dans sa *Paléontologie*, le Grès de Fontainebleau ou sables *supérieurs* comme *Faluniens* A, et les Faluns de la Loire comme *Faluniens* B, adoptant ainsi le même système de classification. Il était fort naturel que ce sujet fît naître des opinions très-divergentes, car, à l'époque où je pris part à la controverse qu'il avait soulevée, il y avait fort peu d'espoir de réussir à jeter un pont sur le vaste précipice qui séparait les deux formations que l'on proposait de réunir alors en un seul groupe. En 1857, la tranchée faite à Étampes pour le passage

du chemin de fer, a permis tout à coup d'élever le nombre des coquilles marines provenant des sables de Fontainebleau de vingt à quatre-vingt-dix espèces. Cette nouvelle découverte a fourni des arguments pour et contre l'opinion des géologues qui voulaient rapporter les couches renfermant ces fossiles à la série Miocène plutôt qu'à l'Éocène. En opposition à cette manière de voir, on peut mentionner le fait qu'aucune de ces quatre-vingt-dix coquilles ne concorde avec les espèces propres aux Faluns de la Loire, tandis que certaines d'entre elles sont identiques avec les espèces du Calcaire Grossier. Cette observation est d'autant plus digne de remarque, qu'Étampes n'est situé dans l'intérieur qu'à 112 kilomètres environ de Pontlevoy, près Blois, et qu'à 160 kilomètres de Savigné, près de Tours, deux localités très-abondantes en coquilles *faluniennes*. Lorsqu'on considère la contiguïté des lieux mentionnés, une dissemblance aussi frappante entre les espèces des vallées de la Loire et celles du bassin de la Seine, ne saurait être le résultat de la distribution géographique à une seule et même époque, mais doit dépendre évidemment d'une grande différence d'âge dans la formation des dépôts. C'est un phénomène qui est du domaine du temps et non de celui de l'espace.

D'un autre côté, en faveur de l'opinion qui groupe les sables d'Étampes ou de Fontainebleau avec les Faluniens récents, plutôt qu'avec les formations plus anciennes de l'Éocène, M. Hébert fit remarquer que la majeure partie des quatre-vingt-dix fossiles d'Étampes et du grès de Fontainebleau concordent spécifiquement avec les coquilles découvertes en Belgique, à Mayence, et autres localités par MM. Dumont, Nyst, de Koninck et Bosquet, qui ont établi que ces fossiles occupaient une position géologique très-distincte au-dessus de la série Éocène, type du Bassin de Paris, et dont les équivalents à Mayence ont été classés pendant longtemps dans le groupe Miocène. M. Hébert a également publié, en 1855, une carte descriptive de la surface de deux mers tertiaires qui auraient succédé l'une à l'autre dans le

bassin de Paris : la première, celle du Calcaire Grossier, et la seconde, celles des Sables de Fontainebleau; ces deux mers montrent très-peu de coïncidence entre elles, circonstance indiquant que de grands changements géographiques seraient survenus durant le laps de temps qui a séparé les deux époques comparées. Dans l'explication de cette carte, M. Hébert développe les motifs qui lui ont fait regarder la zone du *Cerithium plicatum*, ou celle des Sables de Fontainebleau, comme la ligne de démarcation la plus convenable entre les Tertiaires Inférieur et Moyen, c'est-à-dire entre l'Éocène et le Miocène (1).

Alors que j'hésitais dans la meilleure marche à suivre pour tracer la ligne de démarcation entre l'Éocène et le Miocène, M. Lartet, éminent zoologiste Français, dont les écrits sur les mammifères fossiles sont si justement appréciés, me fit remarquer que, bien que les testacés fossiles des Sables de Fontainebleau montrent une prédominance d'affinité pour la Faune Éocène, et un faible rapport avec les Faluns de Touraine, le *Calcaire de la Beauce* (d'eau douce), qui recouvre immédiatement les Sables de Fontainebleau, d'autres formations lacustres en Auvergne et dans le centre de la France, aussi bien que les couches fossilifères du bassin de Mayence, ne sauraient être compris dans le même système Éocène, sans violation des principes paléontologiques. Le groupement des mammifères fossiles, observait M. Lartet, devient moins naturel par un tel arrangement ; car, non-seulement plusieurs genres, mais encore quelques espèces se trouvent sur les deux côtés d'une ligne arbitraire de démarcation ainsi tracée entré l'Éocène et le Miocène. Par exemple, les genres *Dorcatherium*, *Cainotherium*, *Anchitherium*, *Titanomys*, *Rhinoceros incisivus* et autres, deviennent ainsi communs à l'Éocène et au Miocène.

D'autres arguments, tirés de la botanique fossile et qui militent en faveur de la jonction en un seul groupe du Grès

(1) *Bulletin*, 1856, t. XII, p. 760.

de Fontainebleau et des Faluns, seront plus complétement développés dans le chapitre suivant, où je traiterai des couches tertiaires appelées *Molasse,* en Suisse, et du *Brown Coal* d'Allemagne.

Mon éloignement à comprendre les Sables de Fontainebleau et autres formations du même âge dans la période Miocène, venait en partie de la nécessité qu'entraînait ce classement d'abandonner pour ces dépôts la définition que j'avais déjà donnée du terme Miocène, définition par laquelle on signifiait que les coquilles fossiles de ces formations appartiennent, dans une proportion marquée, bien qu'en minorité, à des espèces vivantes. Je me sentis obligé, en 1833, de négliger cette difficulté, lorsque, dans la première édition de mes *Principes de Géologie*, je classai les couches du bassin de Mayence dans le groupe Miocène, estimant que, bien que presque toutes les espèces de leurs coquilles fussent éteintes, celles-ci avaient pourtant plus d'affinité pour les formations Faluniennes que pour les Éocènes. Dans l'origine, j'ai patronné la doctrine de l'arrivée continuelle de nouvelles espèces, avec destruction correspondante des espèces plus anciennes, d'un changement graduel dans la géographie physique et le climat de la terre, et de retours plus rares de révolutions subites dans les mondes organique et inorganique ; cette doctrine, les géologues Anglais l'avaient admise pour la plupart en 1833, et plusieurs des savants les plus distingués du continent l'admettent encore aujourd'hui. Je prédisais, toutefois, à cette époque, que, de temps à autre, on découvrirait de nouveaux groupes de couches qu'il faudrait intercaler entre les couches déjà décrites ; que les fossiles de quelques-unes de ces couches nouvellement découvertes « dévieraient des types normaux d'abord choisis, et se rapprocheraient de plus en plus des types des époques antérieures ou postérieures. » D'après cela, il était évident, de prime abord, que les plus anciens représentants du Miocène, en quelques lieux qu'on les découvrît, seraient difficilement distingués des membres les plus jeunes de la série Éocène, spécialement quant à la

proportion entre les coquilles fossiles vivantes et les espèces éteintes. En réalité, l'importance de ce dernier caractère doit diminuer rapidement à mesure que l'on s'éloigne du Pliocène pour s'approcher du Miocène, et surtout des formations Éocènes, bien qu'il ne soit jamais dépourvu de valeur, et qu'il fournisse souvent le seul point de comparaison entre les couches de pays très-distants. Je reviendrai, dans ce chapitre et dans le seizième, sur cette classification ou ligne de démarcation entre les formations Éocène et Miocène.

Couches du Miocène inférieur du centre de la France. — En Auvergne, dans le Cantal, dans le Velay (voyez la carte d'autre part), on observe de nouveau des couches lacustres appartenant la plupart au même système Miocène que le Calcaire de la Beauce ; ce sont comme les monuments d'anciens lacs, analogues à ceux de la Suisse actuelle, et qui, s'alimentant d'une ou plusieurs rivières-torrents, auraient rempli les dépressions d'une contrée montagneuse. La région où l'on rencontre ces couches est presque entièrement formée de granite et de différentes variétés de schiste granitique, avec quelques lambeaux épars de couches secondaires très-disloquées et qui ont probablement souffert de grandes dénudations. On y voit aussi de vastes accumulations de matières volcaniques (voir la carte), plus récentes pour la plupart que les couches d'eau douce sur lesquelles elles reposent quelquefois, mais, sur divers points, évidemment contemporaines de ces mêmes couches. Je traiterai particulièrement de ces roches ignées dans une autre partie de cet ouvrage.

L'étude des dépôts du centre de la France présente un intérêt tout à fait distinct de celui que peuvent offrir les terrains tertiaires de Paris ou de l'Angleterre. On rencontre en Auvergne des preuves évidentes d'événements d'une grandeur et d'une magnificence extraordinaires, qui ont profondément modifié la forme et les traits primitifs de la contrée, sans cependant les effacer assez complétement pour que l'imagination ne puisse les rétablir au moins en partie. Par suite de l'émission réitérée de laves, précédée et suivie

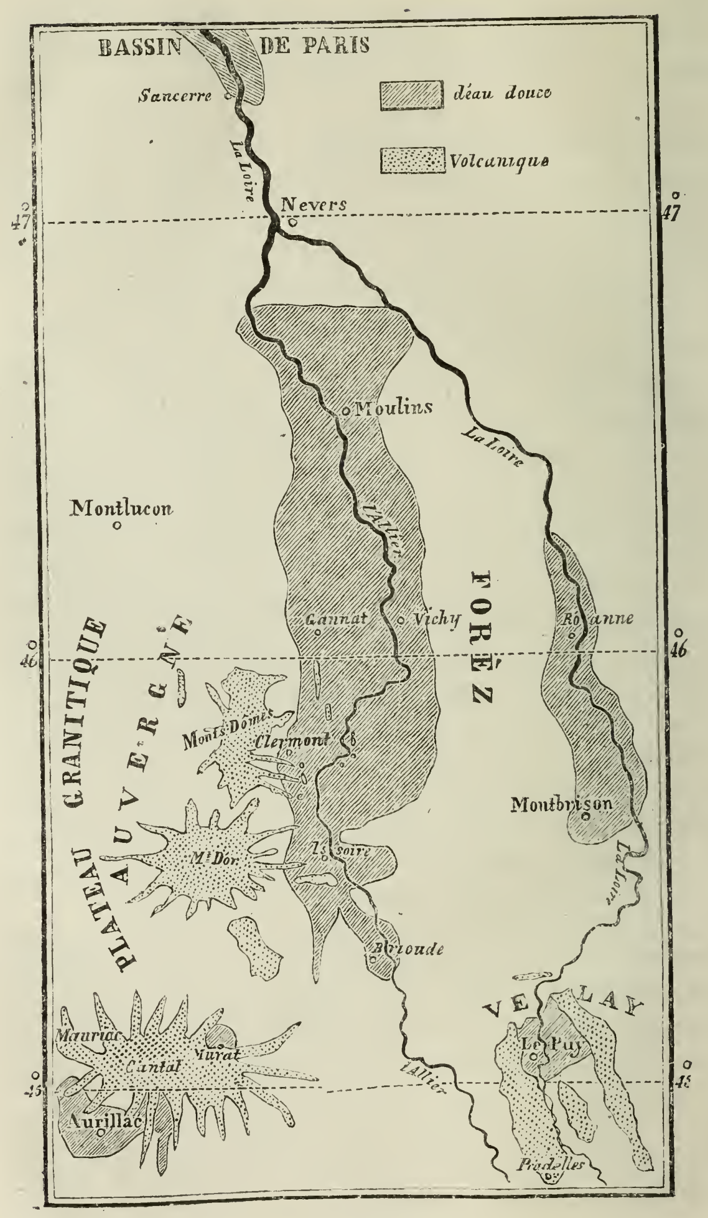

BASSIN DE PARIS
Sancerre
d'eau douce
Volcanique
La Loire
Nevers
47
47
Moulins
La Loire
Montlucon
L'Allier
FOREZ
Gannat
Vichy
Roanne
46
46
PLATEAU GRANITIQUE
AUVERGNE
Monts Dômes
Clermont
Montbrison
Mt Dor
Issoire
La Loire
Brioude
VELAY
Mauriac
Murat
Cantal
Le Puy
L'Allier
Aurillac
Pradelles

FIG. 164.

d'éruptions de cendres et de scories, de grands lacs ont disparu ; des montagnes élevées se sont formées, de profondes vallées ont été creusées au travers des masses d'origine lacustre ou volcanique, et, à une date plus rapprochée de nous, de nouveaux cônes ont surgi dans ces vallées ; puis, des rivières ayant été barrées, de nouveaux lacs ont pris naissance, et plusieurs créations de quadrupèdes, d'oiseaux et de plantes correspondant à l'Éocène, au Miocène et au Pliocène, se sont succédé. Et pourtant la région a conservé une telle physionomie géographique, que l'esprit peut encore se retracer les conditions extérieures et la structure physique qu'elle présentait avant que ces puissants événements se fussent accomplis ou après l'accomplissement partiel de cette révolution. Il dut y avoir une première période pendant laquelle des lacs spacieux, dont on peut encore reconnaître les limites, s'étendaient au pied de montagnes d'élévation moyenne, qui n'offraient encore ni les pics élancés ou les précipices du Mont-Dore, ni les contours pittoresques du Puy-de-Dôme, ni ces cônes et cratères qui couvrent aujourd'hui tout le plateau granitique. Pendant cette première période de repos, des deltas se formèrent lentement ; des couches de marne et de sable se déposèrent sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur ; des roches siliceuses et calcaires se précipitèrent des eaux de sources minérales; des coquilles et des insectes furent enfouis avec divers débris de crocodiles et de tortues, des œufs et des os d'oiseaux aquatiques, ainsi que des squelettes de quadrupèdes, dont la plupart, appartenant aux genres et aux espèces caractéristiques de la période Miocène, restèrent ensevelis au sein des couches. A ces conditions tranquilles de la surface succédèrent des éruptions volcaniques; les lacs furent mis à sec, et la fertilité du district montagneux augmenta probablement par la matière ignée qui vint d'en bas se répandre sur le granite stérile. Durant ces éruptions, qui paraissent avoir eu lieu vers la fin de l'époque Miocène, et s'être continuées pendant celle du Pliocène, le Mastodonte, le Rhinocéros, l'Éléphant, le Tapir, l'Hippopotame, le Bœuf et

différentes sortes de Daims, l'Ours, l'Hyène et divers animaux de proie habitaient les forêts ou paissaient sur la plaine, et se trouvaient parfois exposés à la chute de cendres brûlantes ou à ces inondations de boue que l'on voit aujourd'hui accompagner certaines éruptions volcaniques. Enfin, ces quadrupèdes disparurent et firent place à leur tour aux espèces actuelles. Pendant cette série d'événements, rien n'indique l'intervention de la mer, ni d'autres dénudations que celles produites par l'action des courants lacustres ou des inondations qui accompagnaient les tremblements de terre réitérés, ou les commotions souterraines, alors que le niveau du sol se trouvait modifié sur différents points, et que la contrée tout entière était peut-être exhaussée au-dessus des régions voisines de France.

Auvergne. — Le groupe d'eau douce le plus septentrional est situé dans la vallée-plaine de l'Allier qui comprend le Puy-de-Dôme et était autrefois désignée sous le nom de Limagne d'Auvergne. Cette vallée est bordée par deux chaînes parallèles, celle du Forez qui partage les eaux de la Loire et de l'Allier du côté de l'Est, et celle des Monts Dômes qui sépare l'Allier de la Sioule du côté de l'Ouest (1). Ce district comprend une étendue d'environ 32 kilomètres; il est en grande partie composé de couches presque horizontales de sable, de grès, de marne calcaire, d'argile et de calcaire; aucune de ces couches ne montre un ordre de superposition fixe et invariable. Les masses de granite et d'autres roches qui s'élèvent hardiment au-dessus de la plaine permettent de tracer avec assez de précision les anciens bords du lac dans lequel se sont accumulés les lits d'eau douce. Cependant on aperçoit rarement aujourd'hui la jonction de la formation lacustre et du granite, car ordinairement une petite vallée les sépare. Sur certains points, les couches d'eau douce conservent leur horizontalité à une très-petite distance des roches qui forment le bord, tandis que sur d'autres, elles

(1) Scrope, *Geology of central France*, p. 15.

sont inclinées et parfois même verticales. Les divisions principales qu'on peut admettre dans les séries lacustres sont les suivantes : 1° grès, grit et conglomérat, avec marne rouge et grès rouge ; 2° marnes feuilletées vertes et blanches ; 3° calcaire ou travertin, souvent de structure oolithique ; 4° marnes gypseuses.

1. *a. Grès et conglomérat.* — On rencontre quelquefois, autour du bassin lacustre, des couches abondantes de sable et gravier sous forme de roche solide ; elles contiennent des galets de toutes les anciennes roches de la contrée environnante, telles que granite, gneiss, micaschiste, schiste argileux, porphyre, etc., mais sans aucun mélange de roches basaltiques ou d'autres roches volcaniques tertiaires. Ces couches ne constituent point une ceinture continue autour du bassin ; elles sont plutôt disposées comme les deltas indépendants qui se forment à l'embouchure des torrents sur les bords des lacs actuels.

A Chamalières, près de Clermont, on observe un exemple de ces deltas, ou dépôts littoraux d'étendue limitée, dans lequel les couches à galets s'inclinent à partir du granite, comme si elles eussent formé jadis un talus sous les eaux du lac près d'un rivage escarpé. Une section verticale de 15 mètres environ de hauteur, produite par un torrent, laisse voir, répandus dans la masse, les cailloux qui consistent en fragments arrondis et angulaires de granite, quartz, schiste primitif et grès rouge. Çà et là apparaissent des bandes partielles de lignite et des tronçons de bois.

Sur quelques points au bord du bassin, on rencontre des grès grossiers (grits) quartzeux, qui, lorsqu'ils reposent sur le granite, sont parfois formés de cristaux séparés de quartz, de mica et de feldspath. Ces cristaux dérivent du granite désagrégé, et ont été plus tard unis par un ciment siliceux. Le granite semble alors avoir pris une forme nouvelle plus solide, et le passage est si graduel entre la roche d'origine cristalline et celle de formation mécanique, qu'on distingue difficilement où l'une finit et où l'autre commence.

Les collines appelées la Roche et le Puy-de-Jussat présentent une coupe non interrompue de 212 mètres de hauteur, à la base de laquelle gisent des marnes feuilletées blanches et vertes, épaisses d'environ 120 mètres ; au-dessus, reposant sur des marnes, sont des grès grossiers, quartzeux, cimentés par une matière calcaire, quelquefois si abondante qu'elle forme des nodules empâtés. Sur certains points, ces nodules constituent des concrétions sphéroïdales d'environ 2 mètres de diamètre, et passent à des lits de calcaire solide ressemblant aux travertins Italiens ou aux dépôts de sources minérales.

1. *b. Marne et Grès rouges.* — Le plus remarquable des groupes arénacés est celui qui nous fournit une marne et un grès rouges identiques dans tous leurs caractères minéralogiques avec le Nouveau Grès Rouge et la Marne secondaires d'Angleterre. Dans ces roches secondaires, le sol rouge est quelquefois nuancé de légères teintes verdâtres, circonstance qui se reproduit dans la formation tertiaire d'eau douce de Coudes sur l'Allier. Les marnes sont quelquefois d'une couleur rouge pourpre, comme à Champheix, et accompagnées d'un calcaire rougeâtre comme le *cornstone* associé au Vieux Grès Rouge des géologues Anglais. Le Grès et la Marne rouges d'Auvergne proviennent évidemment de la détérioration du gneiss et du micaschiste qui existent en place sur les collines voisines, et se transforment en un sol tout à fait semblable aux Grès et Marne rouges tertiaires. On trouve aussi dans les grès plus grossiers de ce groupe des galets de gneiss, de micaschiste et de quartz, détachés des mêmes roches que le sable et la marne. Les couches rouges, bien que dépourvues de débris organiques, passent supérieurement à des couches contenant des fossiles tertiaires et appartenant entièrement, sans aucun doute, à la formation lacustre. Cet exemple peut servir à montrer combien un caractère minéralogique isolé est de peu de valeur, pour déterminer l'âge relatif des roches.

2. *Marnes feuilletées vertes et blanches.* — Les roches

primitives d'Auvergne qui, par la décomposition partielle de leurs parties les plus dures, ont donné lieu aux grès et aux conglomérats quartzeux, peuvent aussi par la réduction des mêmes matières à l'état pulvérulent, et par la décomposition de leurs feldspath, mica et hornblende, avoir produit de l'argile alumineuse, et même une marne calcaire, si elles contenaient une quantité suffisante de carbonate de chaux. Ce sédiment fin aurait été naturellement transporté à une certaine distance de la plage, comme les marnes fines qui se déposent aujourd'hui dans le Lac Supérieur, et, de même que, dans le lac d'Amérique, des cailloux et du sable s'accumulent annuellement près du bord septentrional, de même, en Auvergne, les grès et conglomérats se seraient évidemment formés près des bords.

L'épaisseur totale de ces marnes est inconnue, mais en quelques endroits elle dépasse certainement 213 mètres. La roche est habituellement blanche ou légèrement verte. Le carbonate de chaux y domine. Elle est disposée en feuillets très-minces, caractère qui résulte fréquemment de la présence d'innombrables coquilles ou carapaces très-ténues d'un petit crustacé appelé *Cypris*. Cet animal, pourvu de deux petites valves assez semblables à celles d'une coquille bivalve, perd ses téguments par une mue périodique, ce qui n'arrive pas aux mollusques conchifères. L'existence de ces myriades de *Cypris* dans les anciens lacs d'Auvergne explique comment la marne s'est trouvée divisée en lames aussi minces que des feuilles de papier, et cela dans des masses stratifiées de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. On ne saurait trouver une preuve plus convaincante de la tranquillité et de la limpidité des eaux, ainsi que du procédé lent et graduel par lequel le lac s'est rempli de vase fine. On peut aisément admettre encore que, pendant le dépôt de ce sédiment fin dans les parties profondes et centrales du bassin, du gravier, du sable et des fragments de roches étaient entraînés dans le lac et s'y accumulaient près du rivage, donnant ainsi naissance au groupe décrit précédemment.

Non loin de Clermont, des marnes vertes, contenant des *Cypris* en abondance, ne sont qu'à quelques mètres du granite qui forme les bords du bassin. La présence de ces marnes aussi près de l'ancien rivage peut s'expliquer par cette considération qu'au fond du lac primitif, entre les embouchures des rivières et des torrents, les courants n'amenèrent qu'un limon fin. La *verticalité* de quelques-uns des lits témoigne d'un dérangement local considérable et postérieur au dépôt des marnes ; mais de telles couches inclinées et verticales sont très-rares.

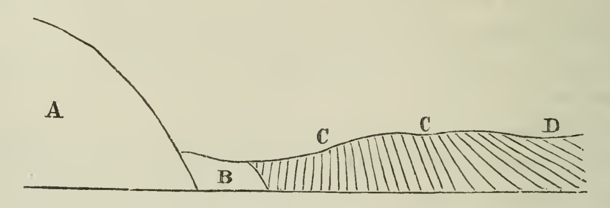


Fig. 165. — Couches verticales de marne, à Champradelle, près Clermont.
A. Granite. — B. Espace de 18 mètres où l'on ne voit pas de coupe. — C. Marne verte, verticale et inclinée. — D. Marne blanche.

3. *Calcaire, Travertin, Oolite.* — Les deux membres précédents du dépôt lacustre, c'est-à-dire les marnes et les grès, passent accidentellement à un calcaire ; quelquefois on y rencontre seulement de nombreux nodules concrétionnés, mais, lorsque la matière calcaire augmente, ces nodules s'unissent en lits réguliers.

De chaque côté du bassin de la Limagne, à l'ouest vers Gannat et à l'est vers Vichy, on exploite un calcaire blanc, oolithique. A Vichy, l'oolithe ressemble, pour l'apparence et la qualité, à notre pierre de Bath, et, comme elle, tendre au sortir de la carrière, elle ne tarde jamais à durcir par son exposition à l'air. A Gannat, la pierre contient des coquilles terrestres et des os de quadrupèdes. A Chadrat, dans la colline de la Serre, le calcaire est pisolitique, et les petits sphéroïdes présentent à la fois la structure rayonnée et la structure concentrique.

Calcaire à Induses. — On connaît encore en Auvergne une autre forme remarquable de calcaire d'eau douce : c'est le *Calcaire à Induses*, qui doit ce nom aux étuis ou *induses* de larves de *Phryganes* qu'il contient ; de gros monticules de matières ont été incrustés sur place par le carbonate de chaux et transformés en travertin très-dur. La roche est quelquefois du calcaire pur ; sur divers points, elle est mélangée de matière siliceuse dont on voit fréquemment plusieurs lits se suivre, soit en masses continues, soit en nodules concrétionnés ; ces lits sont superposés les uns aux autres et



FIG. 166. — Couche de calcaire à induses, dans les marnes d'eau douce, près Clermont (Kleinschrod).

entremêlés de bandes de marne. La coupe ci-contre, prise à la base de la colline de Gergovia (fig. 166), montre l'une de ces couches à induses *a*, entre les marnes *b*, *b* ; elle indique en même temps les dénudations qu'ont dû subir les couches lacustres qui remplissaient jadis des dépressions, et comment elles ont été façonnées en collines et vallées à la place d'anciens lacs.

Nous observons souvent dans nos étangs la larve de la *Phrygane* couverte de petites coquilles d'eau douce qu'elle a la faculté de fixer à l'extérieur de ses fourreaux tubulaires, probablement pour leur donner du poids et de la solidité. L'individu représenté dans la figure 167, et qui appartient à une espèce très-commune en Angleterre, a recouvert son enveloppe de coquille d'une petite *Planorbe.* Une grande espèce de Phrygane qui fréquentait les lacs Éocènes d'Auvergne s'attachait les coquilles d'une petite univalve spiriforme du genre *Paludina.* On voit quelquefois une centaine de ces coquilles disposées autour d'un tube dont la portion centrale reste souvent vide, tandis que l'autre partie est remplie de couches minces concentriques de travertin. Les tubes sont disposés confusément et parfois même à angle droit les uns par rapport aux autres, comme dans la figure 168. Si l'on réfléchit que jusqu'à dix ou onze de ces tubes sont entassés dans un espace de $0^{m},025$ cubes, que certaines couches de ce calcaire mesurent plus de 2 mètres d'épaisseur et

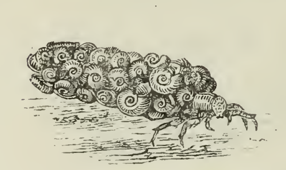
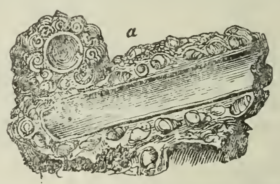


Fig. 167. — Larve de Phrygane récente (1).



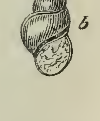


Fig. 168. — *a.* Calcaire à induses, d'Auvergne. *b.* *Paludine* fossile, grossie.

s'étendent sur un espace considérable, on se fera une idée du nombre infini d'insectes et de mollusques qui ont contribué par leurs téguments et leurs coquilles à former cette roche d'une structure si singulière. Il n'est pas nécessaire de supposer que les Phryganes ont vécu sur les lieux mêmes où l'on trouve aujourd'hui leurs enveloppes; elles ont pu multiplier dans les endroits peu profonds, près des bords d'un lac ou dans les ruisseaux qui l'alimentaient, et leurs dé-

(1) Je pense que l'échantillon anglais figuré ici se rapporte à la *P. rhombica,* Linn.

pouilles auront été entraînées au loin par le courant dans les eaux profondes.

Dans l'été de 1837, en examinant avec le Docteur Beck un petit lac près de Copenhague, j'ai constaté un magnifique exemple de la manière dont s'est probablement produite l'accumulation des fourreaux tubulaires d'Auvergne. Ce lac. appelé le Fuure-Soe, situé à l'intérieur de l'île de Seeland, présente environ 32 kilomètres de circonférence, et, sur quelques points, 60 mètres de profondeur. Tout autour de ses bords peu profonds croissent abondamment des roseaux et des joncs couverts d'induses de la *Phryganea grandis* et d'autres espèces auxquelles les coquilles adhèrent. Les plantes qui supportent ces animaux, sont le scirpe des lacs, *Scirpus lacustris* et le roseau commun (*Arundo phragmites*), mais principalement le premier. En été, au mois de juin surtout, de violents coups de vent déterminent parfois un courant plus rapide; les plantes sont renversées avec leurs racines, entraînées par les eaux, et vont flotter en longues bandes qui ont quelquefois plus de 2 kilomètres. La *Cypris* habite le même lac, et il n'y manque que des sources calcaires pour former des couches à induses semblables à celles d'Auvergne.

4. *Marnes gypseuses.* — A Saint-Romain, rive droite de l'Allier, on exploite pour le gypse une masse de marne gypseuse en lames minces, qui a plus de 15 mètres d'épaisseur, et qui ressemble exactement à celle de la colline de Montmartre, près Paris. Elle repose sur une série de marnes vertes à cypris alternant avec le grès grossier; l'épaisseur totale de ce groupe inférieur, reconnue dans un escarpement vertical ouvert sur les bords de la rivière, dépasse 76 mètres.

Disposition générale, origine et âge des formations d'eau douce d'Auvergne. — Les rapports entre les groupes que nous venons de décrire ne sauraient être bien clairement rendus par l'étude d'une seule coupe; aussi le géologue qui s'attendrait à trouver un ordre fixe de suc-

cession s'étonnera peut-être de voir différentes parties du bassin donner des résultats contradictoires.

La division arénacée, les marnes et le calcaire, se rencontrent tous sur certains points, alternant les uns avec les autres; ici, par conséquent, on ne saurait nier l'existence d'un arrangement régulier. Généralement les sables, le grès et le conglomérat constituent un groupe littoral; les marnes feuilletées, blanches et vertes, forment un dépôt central contemporain; le carbonate de chaux est presque toujours subordonné aux portions les plus nouvelles des deux groupes précédents. Les marnes et sables supérieurs sont plus calcaires que les inférieurs, et jamais on ne rencontre de roches calcaires couvertes par une épaisseur considérable de sable quartzeux ou de marne verte. D'après la ressemblance de ces calcaires avec les travertins d'Italie, ces roches doivent évidemment leur formation aux eaux de sources minérales, analogues à celles que l'on voit encore aujourd'hui en Auvergne sortir du granite et précipiter du travertin. Ces sources sont quelquefois thermales, mais ce caractère n'est pas constant. A l'époque où l'ancien lac de la Limagne commença à se remplir de sédiment, les actions volcaniques n'avaient probablement encore produit ni laves ni scories sur aucun point de la surface de l'Auvergne. Aucun galet de lave n'avait par conséquent pénétré dans le lac, aucun fragment de roche volcanique n'avait été enfoui dans le conglomérat; mais, postérieurement à l'accumulation d'une épaisseur considérable de grès et de marne, des éruptions eurent lieu, et des laves et tufs vinrent alterner sur certains points avec des couches lacustres. Pendant les convulsions successives qui précédèrent le développement de l'action volcanique, les sources froides ou thermales, tenant différents principes en dissolution, purent devenir plus nombreuses et multiplier les dépôts de carbonate et de sulfate de chaux, de silex et d'autres matières minérales; cette hypothèse expliquerait aussi la prédominance de ces matières dans les couches supérieures. Les mouvements souterrains modifièrent ensuite

les niveaux relatifs de la contrée, mirent les lacs à sec et empêchèrent toute accumulation ultérieure de couches d'eau douce régulières.

Des événements semblables, accompagnés de résultats analogues, se produisent dans tout bassin moderne, dans celui du Lac Supérieur, par exemple, où de nombreuses rivières et des torrents viennent apporter les détritus d'une chaîne de montagnes. Les matières transportées s'y déposent suivant leur volume et leur poids, les plus grossières près du bord, les plus fines à une grande distance de la terre. Dans les couches graveleuses et sableuses du Lac Supérieur, on ne remarque aucun galet de roches volcaniques modernes, parce qu'il n'existe aujourd'hui dans le pays aucune de ces roches ; cependant, si l'action ignée venait à s'y manifester, et à donner naissance à des laves, à des scories et à des sources thermales, cette action n'interromprait pas le dépôt de gravier, de sable et de marne, mais elle le mélangerait de tuf, de gravier volcanique et de roches précipitées des eaux de sources minérales.

Bien que les couches d'eau douce de la Limagne affectent sensiblement une position horizontale, les preuves d'une dislocation locale y sont suffisamment nombreuses et concluantes pour nous permettre de supposer que de grands changements de niveau ont eu lieu depuis la période lacustre. On ne saurait déterminer les limites nord de l'ancien lac, tandis qu'à l'est, à l'ouest et au sud, ces limites sont figurées par de hautes éminences granitiques; mais, après une aussi grande série d'éruptions volcaniques, nous ne devons pas nous étonner de notre impuissance à restaurer entièrement la géographie physique de la contrée : est-il donc improbable qu'une portion du pays, la portion méridionale, par exemple, se soit élevée en masse, tandis que d'autres points seraient restés en repos ou même auraient subi un mouvement d'abaissement?

Il est à peine possible de déterminer l'âge de la partie la plus ancienne des formations d'eau douce de la Limagne, car

ces masses considérables de couches, sablonneuses ou marneuses, sont dépourvues de fossiles. La plupart des lits les plus inférieurs peuvent appartenir à l'Éocène Supérieur, quoique, suivant M. Pomel, on n'ait découvert en Auvergne qu'un seul os de *Paleotherium*. Mais, dans le Velay, M. Aymard a trouvé, dans des couches contenant des fossiles mammifères, communs à la Limagne, jusqu'à quatre espèces de Paléothère, dont l'une est généralement regardée comme identique avec le *Paleotherium magnum*, fossile incontestablement de l'Éocène Supérieur, du Gypse de Paris ; les trois autres sont d'une nature particulière.

Le plus grand nombre des autres mammifères de la Limagne, que nous ont fait connaître les travaux de MM. Bouillet, Bravard, Croizet, Jobert, Laizer, Robert, Aymard et Pomel, appartient, sans aucun doute, aux genres et espèces généralement propres au Miocène Inférieur. Le Cainotherium de Bravard, par exemple, genre assez voisin de l'Anoplotherium, est représenté par plusieurs espèces, dont l'une, suivant Waterhouse, se confond avec celle du *Microtherium Renggeri* du bassin de Mayence. De même, l'*Amphitragulus elegans*, fossile d'Auvergne, de Pomel, est identifié par Waterhouse avec le *Dorcatherium nanum* de Kaup, espèce Rhénane provenant de Weissenau, près de Mayence. Une petite espèce de rongeur, du genre Titanomys de H. von Meyer, est également commune au Miocène Inférieur de Mayence et à la Limagne d'Auvergne, et il existe sur ce sujet d'autres points nombreux de concordance que tend à dissimuler le désaccord dans la nomenclature. Un genre remarquable de carnivores, l'Hyænodon de Laizer, est représenté par plus d'une espèce, et a été également trouvé dans les marnes de l'Éocène Supérieur de Hordwell Cliff, dans le Hampshire, précisément au-dessous du niveau du Calcaire de Bemdridge, formation, par conséquent, plus ancienne que le Gypse de Paris. Avec ce dernier, on rencontre dans les mêmes couches de la Limagne plusieurs espèces de l'opossum (*Didelphis*). L'association de genres tels que le *Dino-*

therium, le *Tapir*, l'*Anthracotherium* et le *Rhinoceros* avec ceux que nous avons mentionnés ci-dessus, sert à relier la faune d'Auvergne avec le Miocène Supérieur, mais les espèces diffèrent de celles des faluns avoisinants de la Loire, ou de celles de Sansan, dans le midi de la France. Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne voit pas encore apparaître les espèces du Miocène supérieur, dans les formations volcaniques supérieures d'Auvergne, où les quadrupèdes découverts jusqu'à présent appartiennent aux périodes du vieux ou du nouveau Pliocène.

Les mammifères énumérés par M. Pomel, comme appartenant à la faune du Miocène Inférieur de la Limagne et du Velay, s'élèvent presque au nombre de cent, et ils sont associés à des tortues et à des crocodiles de grandes dimensions, ainsi qu'à des reptiles Ophidiens et Batraciens.

Cantal. — Dans la Haute-Loire, près de la ville du Puy, en Velay, il existe une formation d'eau douce du même âge à peu près que celle d'Auvergne et qui lui est très-analogue; une autre se rencontre dans le Cantal, près d'Aurillac. Le trait le plus saillant qui distingue cette dernière formation de celles de l'Auvergne et du Velay, est l'abondance du silex associé aux marnes calcaires et au calcaire.

La série entière peut se diviser en deux : portion inférieure, composée de gravier, de sable et d'argile dus à l'usure et à la décomposition des schistes granitiques de la contrée environnante ; portion supérieure, consistant en marne siliceuse et calcaire, et contenant, comme roches subordonnées, du gypse, du silex et du calcaire.

La ressemblance du calcaire d'eau douce du Cantal et du silex qui l'accompagne, avec la craie supérieure de l'Angleterre, nous fournit une nouvelle preuve de l'inconvénient qu'il y aurait à donner une importance exclusive au caractère minéralogique, comme criterium de l'âge relatif des formations.

Lorsqu'on approche d'Aurillac du côté de l'ouest, on traverse de longues plaines remplies de bruyères où le stérile

micaschiste nourrit une végétation chétive. Près d'Ytrac, entre La Capelle et Viscamp, le sol est parsemé de silex brisés dont quelques-uns sont noirs intérieurement avec une enveloppe extérieure blanche, et d'autres sont colorés de jaune et de rouge, absolument comme ceux du gravier à silex de nos districts crayeux. L'aspect de ces monticules annonce une nouvelle formation, et l'on arrive bientôt, en effet, à un escarpement de couches lacustres. Au pied de la colline s'étendent des couches d'argile et de sable reposant sur le micaschiste, et au-dessus, dans les carrières de Belbet, Leybros et Bruel, on observe un calcaire blanc en couches horizontales, dont la surface a été creusée de sillons irréguliers remplis par des silex brisés, de la marne et une terre noire végétale. Ces sillons présentent une contre-partie exacte de ceux qui couvrent la surface de la craie blanche en Angleterre. Après ces carrières, en suivant une route formée de calcaire blanc, qui reflète aussi vivement les rayons du soleil que nos routes taillées dans la craie, on rencontre, près d'Aurillac, des collines de calcaire et de marne calcaire en couches horizontales séparées, en quelques endroits, par des lits réguliers de silex en nodules dont l'enveloppe est d'un blanc opaque comme celle des nodules siliceux de la Grande-Bretagne.

L'abondant tribut de matières siliceuses, calcaires, gypseuses que recevaient les anciens lacs de France peut avoir eu quelque connexion avec l'action volcanique souterraine dont ces régions ont été pendant si longtemps le théâtre, et qui aurait imprégné les sources de matières minérales, même avant la grande sortie des laves. On sait que les sources chaudes d'Islande et d'autres pays contiennent de la silice en dissolution, et l'on a dernièrement constaté que la vapeur à une haute température dissout les roches quartzeuses sans l'aide d'aucun alcali ou d'un autre fondant (1). L'eau chaude chargée de matières siliceuses dépose une partie de la silice

(1) *Proceed. of Royal Soc*, n° 44, p. 233.

dès que sa température s'abaisse au contact des eaux froides d'un lac.

Si l'on examine superficiellement le calcaire blanc et le silex d'Aurillac, on admet tout d'abord que la roche est du même âge que la craie blanche d'Europe ; mais, lorsque du facies minéralogique et de la composition, on passe aux fossiles, on trouve, dans le silex du Cantal, des enveloppes de graines du *Chara* d'eau douce au lieu des zoophytes marins si fréquents dans les silex de la craie ; et, dans le calcaire, des coquilles de *Limnea Planorbis* et autres genres lacustres.

Preuves d'un dépôt graduel. — Certaines coupes des marnes feuilletées de la vallée du Çer, près d'Aurillac, prouvent de la manière la moins équivoque l'extrême lenteur avec laquelle se sont accumulées les matières des séries lacustres. Dans la colline de Barrat, par exemple, on remarque un assemblage de marnes calcaires et siliceuses dans lequel, à une profondeur de 18 mètres au moins, les feuillets sont si minces, qu'on en compte quelquefois jusqu'à trente dans une épaisseur de 2 centimètres 1/2 ; lorsqu'on sépare ces feuillets, on rencontre, parfaitement conservées, des tiges aplaties de *Chara* ou autres plantes, et parfois des myriades de petites *Paludines* et autres coquilles d'eau douce. Ces foliations extrêmement fines de la marne ressemblent exactement à certaines couches récentes à lamelles de la marne des lacs Écossais, et peuvent être comparées aux feuillets d'un livre, contenant chacun l'histoire d'une période du passé.

Ces feuillets, dont la nuance varie entre le blanc, le vert et le brun, peuvent être groupés en lits de 3 à 5 décimètres d'épaisseur, et distingués entre eux par des différences de couleur et de composition. Parfois un feuillet épais de 25 millimètres environ est formé de pur silex ; d'autres fois il consiste en matière végétale charbonneuse, noire, ou en marne blanche pulvérulente. Aux environs d'Aurillac, plusieurs collines composées de ces sortes de matières mesurent plus de 60 mètres d'élévation à partir de leur base ; le tout est quelquefois recouvert de cou-

rants consolidés de laves trachytiques ou basaltiques (1).

Ces infiniment petits sont les parties séparées dont se composent quelques-uns des monuments géologiques les plus grandioses. Pour les classer, il est nécessaire d'embrasser dans un ensemble des groupes entiers de couches; mais, pour comprendre leur mode de formation et expliquer leur origine, il convient de descendre aux petites sous-divisions dont chaque masse est composée; il faut calculer combien de minces feuillets, contenant chacun les débris de myriades de testacés etde plantes, entrent dans la composition d'une seule couche, et de quelle immense succession de ces couches un seul groupe est formé ! Il faut se rappeler aussi que des amas de matières volcaniques tels que le Plomb du Cantal, qui s'élève dans le voisinage d'Aurillac, sont eux-mêmes le résultat d'accumulations successives consistant en lits multipliés de lave, de scories et de fragments rejetés par les éruptions. Enfin on ne doit pas perdre de vue que les continents et les chaînes de montagnes, malgré leurs dimensions colossales, ne sont qu'un assemblage de plusieurs groupes ignés ou aqueux semblables aux précédents, formés successivement pendant un laps de temps infini et superposés les uns aux autres.

Couches Miocènes de Bordeaux et du midi de la France. — Des dépôts tertiaires d'âges divers et principalement de l'époque Miocène couvrent de vastes surfaces, dans le pays situé entre les Pyrénées et la Gironde. M. Tournouer a montré, dans un excellent mémoire sur ces formations (2), la continuité remarquable qui existe dans la succession de ces couches, dont les supérieures sont un peu plus récentes que les Faluns de Touraine et les plus inférieures un peu plus anciennes que le grès de Fontainebleau déjà signalé. Dans le groupe le plus élevé, celui de Salles, dans lequel on rencontre la *Voluta Lamberti* et la *Cardita Jouanneti*, se trouvent plusieurs fossiles communs aux formations

(1) Lyell et Murchison, *Sur les Dépôts Lacustres Tertiaires, du Cantal*, etc. *Ann. des sc. nat.*, oct. 1829.

(2) *Bulletin Soc. géol. de France*, tom. XVIII, 1861-2, p. 1035.

Pliocènes ou Subapennines. Immédiatement au-dessous viennent les Faluns propres de Bordeaux, qui comprennent les Faluns de Saucats et de Leognan, ainsi que ceux de Dax, dans le bassin avoisinant de l'Adour. Ces formations qui contiennent, entre autres coquilles, le *Pecten Burdigalensis* et l'*Ancillaria glandiformis*, sont de même date que les Faluns de Touraine; mais les espèces sont, en si grand nombre, particulières au Midi, qu'on doit en conclure qu'une bande considérable de terre a dû former une séparation entre le bassin de la Loire et celui de la Gironde.

On voit immédiatement suivre, dans l'ordre descendant, des couches qui peuvent être rapportées au Miocène Inférieur, celles de Merignac et de Bazas, la première d'origine d'eau saumâtre, et la dernière d'origine marine. On trouve dans cette série fluvio-marine, le *Cerithium plicatum* (fig. 173, p. 383), *C. margaritaceum*, *C. Brongniarti*, etc., et dans les couches marines, la *Pyrula Lainei*. La plus grande partie de cette série est, suivant M. Tournouer, d'un âge correspondant à celui du calcaire d'eau douce de la Beauce, dans les bassins de la Loire et de la Seine.

Plus bas dans la série se montre le calcaire à Astéries, qui, avec ses marnes susjacentes, a une épaisseur d'environ 91 mètres; on y trouve le *Cerithium plicatum* et le *C. margaritaceum*, avec la *Natica crassatina* et autres coquilles caractéristiques des sables d'Étampes et de Fontainebleau précédemment mentionnées. Ces couches inférieures renferment plusieurs espèces communes au système de l'Éocène Parisien, au Calcaire Grossier, par exemple, et même à des lits encore plus profondément situés. On remarque également dans le calcaire à Astéries, plusieurs espèces de nummulites, et leur présence marque une différence caractéristique entre le Miocène Inférieur de l'Europe méridionale et celui de l'Europe septentrionale. Ces preuves et bien d'autres indiquant le passage d'un groupe ancien à un nouveau, constituent précisément les témoignages auxquels nous devons nous attendre, à mesure que notre série de

monuments commence à se compléter de plus en plus. Suivant M. Tournouer, les coquilles du Miocène identifiables avec celles de l'Éocène, sont toujours des variétés de la même espèce, fait important par rapport aux théories de l'origine de l'espèce. Au-dessous de toutes ces formations s'étend un vrai calcaire Éocène, appelé le Calcaire de Blaye, du même âge que le Calcaire Grossier du bassin de Paris. Pour expliquer la succession des couches dans le bassin de la Gironde, il faut nécessairement admettre plusieurs oscillations de niveau ; la même surface doit avoir été alternativement convertie en mer, en terre ferme, en lagunes à eau saumâtre et finalement en lacs ou étangs d'eau douce.

Couches du Miocène Supérieur dans le Gers. — Parmi les formations d'eau douce, situées, comme nous l'avons dit plus haut, au pied des Pyrénées, il en existe plusieurs de la période du Miocène Supérieur, qui ont donné à M. Lartet des os du *Dinotherium giganteum*, et des squelettes entiers du *Mastodon angustidens*. Ce savant éminent par ses connaissances en anatomie comparée a découvert, en 1837, dans l'un de ces dépôts, les restes de quadrumanes qui n'avaient jamais été découverts en Europe. Ils étaient associés avec les quadrupèdes ci-dessus mentionnés dans des lits de marne, de calcaire et de sable, près d'Auch, dans le département du Gers, à 64 kilomètres environ à l'ouest de Toulouse. Ils ont été rapportés par MM. Lartet et Blainville, à un genre très-rapproché de celui du Gibbon, et auquel ils ont donné le nom de *Pliopithecus*. Plus récemment (1856) M. Lartet a décrit une autre espèce de la même famille de singes aux longs bras (*Hylobates*), qu'il avait obtenue des couches du même âge à Saint-Gaudens, dans la Haute-Garonne. Les restes fossiles de cet animal comprenaient une portion de la mâchoire inférieure avec des dents et la tête de l'humérus. On a supposé que c'était un singe frugivore, grimpeur sur les arbres, et d'une stature égale à celle de l'homme ; comme l'on trouve communément des troncs de chêne dans les couches de lignite qui le renferment, on lui a donné le

nom générique de *Dryopithecus*. L'angle formé par le rameau ascendant de la mâchoire et le bord alvéolaire est moins ouvert, et par conséquent plus ressemblant à la même partie dans l'homme que dans le Chimpanzé. Circonstance encore plus remarquable, le fossile, individu jeune, mais adulte, a toutes ses dents de lait remplacées par celles du second âge, tandis que ses dernières vraies molaires (dents de sagesse), ne sont pas encore développées ou existent seulement en germe dans l'os de la mâchoire. Par conséquent, le mode de succession des dents de cet animal, qui sont exactement en nombre égal à celles de l'homme, comme dans tous les singes de l'ancien monde, différait de celui du Gorille et du Chimpanzé, et correspondait avec celui de l'espèce humaine.

M. Lartet nous a fait observer que cet animal partage cette particularité dans la dentition, avec l'un des Gibbons actuels que l'on nomme le Siamang. C'est là un caractère que l'on signale entre plusieurs autres, tels que la forme plus globulaire du crâne, et la dimension plus petite des dents canines de la mâchoire inférieure, par la structure de laquelle les Gibbons se rapprochent plus de l'homme que tout autre individu de l'espèce des singes sans queue. Il existe une certaine analogie entre ces points de ressemblance et le fait que l'Homme et l'Orang (*Pithecus*) ont chacun douze paires de côtes, tandis que le Gorille et le Chimpanzé (*Troglodytes*) en ont chacun treize paires, bien que se rapprochant davantage par l'ensemble de leurs caractères du type de l'homme que l'Orang. Quelques singes platyrrhiniens de l'Amérique du Sud présentent une analogie encore plus curieuse; quoiqu'ils diffèrent des quadrumanes de l'ancien monde et de l'homme comme ayant quatre molaires en plus, ils ont non-seulement la face moins prognathe que les singes Catarrhiniens, mais ont encore le cervelet plus décidément recouvert par le lobe postérieur du cerveau que les singes de l'ancien monde. En somme la masse cérébrale de ces derniers présente, dans sa structure anatomique, une ressemblance bien plus grande avec celle du cerveau de l'homme.

FORMATIONS MIOCÈNES DE BELGIQUE ET D'ANGLETERRE.

Miocène Supérieur, près d'Anvers. — Couches d'Édeghem. — Nous avons signalé, pag. 334, le Crag Noir ou Glauconifère d'Anvers, comme montrant une affinité considérable avec le Crag de Suffolk, attendu que les deux tiers des 65 coquilles qu'il a fournies sont communes au Crag corallin de Suffolk, et que sur ce total un peu moins de la moitié appartient à des espèces vivantes.

Vers l'année 1862, on a fait à Édeghem, aux environs d'Anvers, l'importante découverte d'un autre dépôt tant soit peu plus ancien que le Crag Noir. En fouillant pour trouver de la terre à brique, on atteignit un lit de sable argileux, dans lequel on trouva 152 fossiles renfermant 145 mollusques et échinodermes, et quelques zoophytes, spécialement une grande espèce de *Flabellum*. M. Nyst a examiné, catalogué et soigneusement comparé ces fossiles avec ceux d'autres dépôts Miocène et Pliocène d'Europe (1). Ces couches d'Édeghem qui reposent sur de l'argile du Miocène Inférieur, le *Rupélien* de Dumont, et se rapportent entièrement par leurs fossiles au Crag Noir ci-dessus mentionné, offrent pourtant des indications nombreuses d'une plus haute antiquité. Cinquante-huit de ces espèces se présentent pour la première fois dans les formations tertiaires de Belgique, et sur ce nombre 14 seulement, ou 25 pour 100 environ, sont récentes. Sur les 145 coquilles trouvées dans les lits d'Édeghem, M. Nyst en considère 52 comme des espèces vivantes; 5 autres sont probablement identiques avec ces mêmes espèces, ce qui forme, en acceptant tous ces chiffres, une proportion de 39 pour 100, proportion bien inférieure à celle qui a été observée dans le Crag Noir d'Anvers (voir ci-dessus, p. 334). Les faits suivants fournissent une indication encore plus concluante, de la relation des sables d'Édeghem avec une période plus ancienne ou Miocène; d'après les tables de M. Nyst, on voit que sur les 145 mollusques qu'elles con-

(1) Nyst, *Bulletin Acad. roy.* Bruxelles, 1862.

tiennent, il n'en est pas moins de 83 qui appartiennent au groupe falunien, c'est-à-dire qu'une proportion de 56 pour 100 de ces coquilles sont spécifiquement identiques avec celles que l'on rencontre dans les couches du Miocène Supérieur du nord de l'Allemagne, de la Touraine, du bassin de Vienne, des Faluns de Bordeaux et d'autres localités, couches incontestablement contemporaines du Miocène Supérieur : d'un autre côté, on observe que ces lits d'Édeghem, circonstance bien plus concluante en faveur de leur antiquité, renferment des coquilles des genres *Conus*, *Ancillaria* et *Oliva*, qui manquent toutes, non-seulement dans les Crags Rouge et Corallin de Suffolk, et dans les Crags Supérieurs et Moyens d'Anvers, mais encore dans le Crag plus inférieur ou Crag Noir d'Anvers. On rencontre aussi ces mêmes genres dans les couches du Bolderberg en Belgique, vraie formation du Miocène Supérieur, dont la faune s'éloigne encore davantage de celle de nos jours, quant à la proportion de ses coquilles d'espèces vivantes.

Miocène Supérieur de Belgique et d'Angleterre. — Sables de Diest. — M. Nyst pense que la formation appelée Diestienne par Dumont, est du même âge que les sables d'Édeghem, et cette opinion nous paraît fondée. Ces grès et sables ferrugineux de Diest se rencontrent près de la ville du même nom, à 48 kilomètres environ nord-est de Bruxelles. Ils abondent en grains verts, et ressemblent minéralogiquement aux lits ferrugineux du Grès Vert Inférieur dans le sud-est de l'Angleterre. Les couches ne contiennent qu'un trop petit nombre de fossiles, parmi lesquels le *Terebratula grandis* est un de ceux qui est le mieux conservé. Les sables de Diest sont remarquables en ce qu'ils forment le couronnement des collines qui s'étendent de Diest, en passant par Louvain, et à l'ouest, par Oudenarde, jusqu'à Cassel dans les Flandres Françaises, où l'on trouve ces formations à la hauteur de 160 mètres. Après avoir ainsi suivi leurs traces sur une distance de 160 kilomètres de l'est à l'ouest, on les retrouve, avec leur même caractère minéralogique,

sur une autre étendue de 160 kilomètres, dans une même direction occidentale, couronnant d'abord les Downs, près de Folkestone, et disséminés ensuite sur divers points, à Padlesworth, par exemple, à Lenham, près de Maidstone et à Vigo Till près d'Otford dans le Kent.

La position géologique de ces sables ferrugineux en Angleterre fut pour la première fois signalée par M. Prestwich, qui, dans un mémoire lu en 1857 à la Société Géologique de Londres, les décrivit comme des formations pouvant être plus anciennes que le Crag Corallin, et que l'on rencontrait au sommet des Downs, sur divers points, entre Folkestone et Dorking. Il mentionna leur ressemblance avec les sables de Diest de Belgique, et y signala la présence de *Terebratula grandis*, et les moules d'*Astarte pyrula*, d'*Emarginula*, et autres fossiles, tous communs au Crag Britannique. Après la publication de M. Prestwich, je visitai avec lui les principales localités du Kent sur lesquelles il avait appelé l'attention, et observai ces sables ferrugineux, d'une épaisseur de 6 mètres, reposant sur la craie, près du bord de l'escarpement, qui est situé à 1 kilomètre 1/2 environ nord-est de Folkestone. Je les étudiai aussi à Padlesworth, au sommet des Downs à 6 kilomètres ouest-nord-ouest de Folkestone, où les couches ont environ 12 mètres d'épaisseur, et se trouvent à une élévation de 152 mètres au-dessus du niveau de la mer. A Lenham, à 16 kilomètres est de Maidstone, des lambeaux de couches ferrugineuses plus consolidées, et remplies de moules de coquilles marines et d'autres fossiles, sont conservées dans des tuyaux de sable (*Sandpipes*) verticaux, qui pénètrent au travers de la craie blanche. Je remarquai dans ces dépôts des restes organiques, qui me rappelèrent ceux que j'avais vus en 1850 à Kesseloo, près de Louvain, dans les sables de Diest, qui recouvrent dans cet endroit les lits du Limbourg ou du Miocène Inférieur (1). Les preuves servant à l'étude de ces formations, tant en Belgique que dans le Kent, étant tirées des moules des coquilles, consistent

(1) Voyez un Mémoire de V. Raulin. Bordeaux, 1848.

principalement dans la correspondance des genres; certaines espèces, pourtant, telles que la grande *Terebratula* et une *Turbinolia* paraissent être identiques.

Par suite de la disette de fossiles dans les sables de Diest, on ne peut déterminer, quant à présent, les relations exactes de ces couches avec celles d'Edeghem, ou décider si ces formations sont intermédiaires entre celles d'Edeghem et du Bolderberg; mais on peut affirmer, au moins, que les sables ferrugineux des Downs du Nord, cités en passant, sont les seules couches britanniques connues jusqu'à ce jour, qui puissent être regardées avec raison comme appartenant au Miocène Supérieur.

Miocène Supérieur du Bolderberg en Belgique. — Une petite colline appelée le Bolderberg, que j'ai visitée en 1851, et qui est située près de Hasselt, à environ 60 kilomètres E.-N.-E de Bruxelles, présente des couches de sable et de gravier sur lesquelles M. Dumont a, le premier, appelé l'attention comme représentant dans le nord les faluns de Touraine. Ces couches sont tout à fait distinctes du Crag d'Anvers par leurs fossiles, et contiennent en abondance des coquilles des genres *Oliva*, *Conus*, *Ancillaria*, *Pleurotoma* et *Cancellaria*. L'espèce la plus commune est une Olive (fig. 169) appelée par Nyst *Oliva Dufresnii*, Bast., mais qui est sans aucun doute, comme M. Bosquet l'a fait observer, plus petite et plus courte que celle de Bordeaux (1).

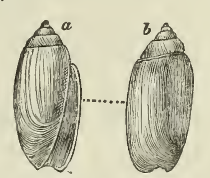


FIG. 169. — *Oliva Dufresnii*. Bast. de Bolderberg (Belgique); grandeur naturelle.
a. Face antérieure. — *b*. Face postérieure ou dorsale.

Les couches du Miocène Supérieur dans le Bolderberg se rencontrent à la hauteur d'environ 60 mètres au-dessus du niveau de la mer. Elles sont couvertes par les sables Diestiens et le grès ferrugineux déjà décrits, et reposent sur des lits du Miocène Inférieur appelés Rupéliens par Dumont.

(1) Lyell, *On Belgian Tertiaires* (*Quart. Geol. Journ.*, 1852, p. 295). La figure de Nyst paraît avoir été copiée sur celle du fossile de Bordeaux donné par Basterot.

Autant qu'il nous est permis de le supposer d'après les coquilles connues de cette formation, la proportion des espèces récentes concorde avec celle des faluns de Touraine, et son climat doit avoir été plus chaud que celui du Crag Corallin d'Angleterre.

Je n'ai trouvé trace de nummulites dans aucune de ces couches du Miocène Inférieur de Belgique ; au reste, M. d'Archiac avait précédemment observé que ces foraminifères caractérisent ses *Séries Tertiaires Inférieures*, distinctes de ses *Tertiaires Moyennes*, et peuvent servir par conséquent de preuve excellente pour déterminer, au moins dans le nord de l'Europe, l'intervalle qui sépare l'Eocène du Miocène. Le même naturaliste nous apprend qu'on n'a vu jusqu'à ce jour qu'une seule nummulite, *Nummulites intermedia*, espèce Eocène, pénétrer plus haut dans le tertiaire moyen. On l'a trouvée dans la colline de Superga, près de Turin, dans des couches Miocènes probablement un peu plus anciennes que le type Falunien (voir ci-dessus, p. 336).

Nord de l'Allemagne. — Nous voyons, dans le savant traité publié par M. Beyrich en 1853, que la faune fossile qui nous occupe et qui était si pauvrement représentée au Bolderberg, se montre au contraire extrêmement riche en espèces dans d'autres localités du nord de l'Allemagne, par exemple dans le Mecklembourg, le Lunebourg, l'île de Sylt, et à Bersenbrück, au nord d'Osnabrück en Westphalie, où elle a été observée pour la première fois par F. Römer (1).

Miocène Inférieur. — Belgique. — On a constaté que les lits du Bolderberg reposent sur le Rupélien de Dumont, formation Miocène inférieure qui se montre de la manière la plus sensible aux villages de Rupelmonde et de Boom, à 16 kilomètres sud d'Anvers, sur les rives du Scheldt et près de la jonction de cette rivière avec le petit cours d'eau appelé le Rupel. L'argile à tuiles exploitée dans cette localité est très-abondante en fossiles ; elle atteint l'épais-

(1) Beyrich, *Die Conchylien der Norddeutschen Tertiärgebirge*. Berlin, 1853.

seur de 30 mètres, et, quoique d'un âge très-différent, ressemble beaucoup, par ses caractères minéralogiques, à l'*Argile de Londres.* Elle contient comme elle des *Septaria,* ou concrétions de calcaire argileux traversées par des fissures intérieures, qui sont remplies de spath calcaire. Les coquilles, qui peuvent être rapportées à 40 espèces environ, ont été décrites par MM. Nyst et de Koning. La *Leda* (ou *Nucula Deshayesiana*, fig. 170) est de beaucoup la plus abondante ; ce fossile est inconnu jusqu'à présent dans les couches tertiaires d'Angleterre ; mais lorsque les individus en sont jeunes, ils ressemblent beaucoup à la *Leda amygdaloïdes* de l'argile de Londres proprement dite (voir fig. 256). Parmi d'autres coquilles caractéristiques figurent le *Pecten Hœninghausii*, une espèce de *Cassidaria*, et plusieurs autres du genre *Pleurotoma*. Une grande partie de ces testacés concordent avec les espèces de l'Eocène d'Angleterre : tels sont l'*Actæon simulatus*, Sow., *Cancellaria evulsa*, Brander, *Corbula pisum* (fig. 171), et *Nautilus* (*Aturia*) *zigzag*. Ces fossiles sont accompagnés de dents de différents squales, tels que le *Lamna contordidens*, Ag., *Oxyrhina xiphodon*, Ag., *Carcharodon heterodon* (voir fig. 240), Ag., et d'autres poissons, dont quelques-uns sont communs aux couches de l'Eocène Moyen.

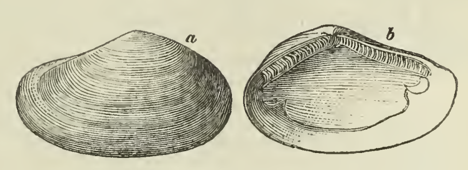


FIG. 170. — *Leda Deshayesiana* (Nyst.). Syn. *Nucula Deshayesiana.*

Argile rupélienne de Hermsdorf, près de Berlin. — Le professeur Beyrich a décrit une masse d'argile employée pour la fabrication des tuiles, près du village de Hermsdorf, à 11 kilomètres des portes de Berlin. Cette argile, qui se trouve sous les sables dont la contrée est en grande partie recouverte, a plus de 12 mètres d'épaisseur ; sa couleur est d'un gris bleuâtre foncé, et comme le dépôt de Rupelmonde, elle contient des *septaria.* Parmi ses

autres coquilles, abondent la *Leda Deshayesiana* déjà citée (fig. 170) et plusieurs espèces de *Pleurotoma*, *Voluta*, etc., une certaine proportion des espèces fossiles est identique avec celles de Rupelmonde. On peut encore étudier la succession des couches du Miocène Inférieur de Belgique dans les environs de Kleyn Spawen, village situé à 11 kilomètres ouest de Maestricht, dans l'ancienne province Belge du Limbourg. On a obtenu, dans cette région, 200 espèces de testacés marins et d'eau douce, avec un grand nombre de foraminifères et des débris de poissons.

Le tableau suivant montrera la position de ces couches Belges du Limbourg.

MIOCÈNE SUPÉRIEUR.

A. Couches du Bolderberg (voyez p. 377) observées près de Hasselt.

MIOCÈNE INFÉRIEUR.

B. 1.	Limon à Nucules de Kleyn-Spawen, de même âge que l'argile de Rupelmonde et de Boom.	Couches du Limbourg, Supérieures. — Rupélien de Dumont.
B. 2.	Couches fluvio-marines de Berg, Lethen et autres localités, près de Kleyn-Spawen.	Couches du Limbourg, Moyennes. — Tongrien Supérieur de Dumont.
B. 3.	Grès Vert marin de Bergh, Neerepen, etc., et Tongres, près de Kleyn-Spawen.	Couches du Limbourg, Inférieures. — Tongrien Inférieur de Dumont.

ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.

Couches de calcaire sablonneuses de Laeken, près de Bruxelles, avec nummulites, etc., du même âge que les *Sables Moyens* du bassin de Paris, et que l'argile de Barton, dans les Hampshire.

La division supérieure des trois divisions (*B.* 1) formée dans le tableau ci-dessus, par le Miocène Inférieur ou série de Limbourg, contient, à Kleyn-Spawen, plusieurs fossiles identiques avec ceux de Rupelmonde et de Boom, localités à 96 kilomètres N.-O. de Kleyn-Spawen.

Les couches inférieures, ou divisions Tongriennes, *B.* 2 et *B.* 3, sont beaucoup plus développées à Kleyn-Spawen qu'en *B.* 1. La première de ces divisions, *B.* 2, se compose

de plusieurs alternances de sable et de marne, dans lesquelles on rencontre un mélange plus ou moins considérable de coquilles fluviatiles et marines, ce qui implique l'existence accidentelle d'une embouchure de rivière près de la localité, et peut-être des oscillations dans le niveau du fond de la mer. Parmi les coquilles, on y rencontre les *Cyrena semistriata* (fig. 172), *Cerithium plicatum*, Lam. (fig. 173), *Rissoa Chastelii*, Bosq. (fig. 175) et *Corbula pisum* (fig. 171), quatre coquilles qui sont communes aux couches de Hempstead ou du Miocène Inférieur Britannique de l'île de Wight, dont on parlera dans la suite. On y rencontre aussi la *Lucina Thierensii*, et d'autres formes marines des genres *Venus*, *Limopsis*, *Trochus*, etc.

Dans *B.* 3, ou Tongrien Inférieur, on a recueilli plus de cent coquilles marines, et particulièrement l'*Ostrea ventilabrum*, qui est très-remarquable. Les espèces communes aux sables sous-jacents de Bruxelles, c'est-à-dire à l'Éocène Supérieur, sont nombreuses et constituent un tiers de la totalité; mais un grand nombre sont faiblement représentées par rapport aux coquilles plus spécialement caractéristiques, telles que *Ostrea ventilabrum*, *Mytilus Nystii*, *Voluta Suturalis*, etc.

On n'est pas encore fixé sur la question de savoir, si ce Tongrien Inférieur doit être classé comme le membre le plus inférieur de la série Miocène, ou comme le supérieur de l'Éocène, ou, en d'autres termes, comme la formation marine équivalente du gypse d'eau douce de Paris. Pour le moment je suis porté à croire que ce Tongrien Inférieur est plus récent que le gypse de Paris, tout en se trouvant certainement très-près de la ligne de démarcation qui sépare les deux systèmes. Nous discuterons plus amplement dans le seizième chapitre, les relations de ce dépôt avec ceux de l'Éocène Supérieur d'Angleterre ou de l'île de Wight.

Dans aucune des couches du Miocène Inférieur de Belgique je n'ai pu trouver de Nummulites. M. d'Archiac avait déjà observé que ces foraminifères caractérisent sa *Série Tertiaire Inférieure* de cette division par contraste avec la série

Moyenne, et servent, par conséquent, de caractère distinctif entre l'Éocène et le Miocène, au moins en Belgique et dans le nord de la France (1).

Entre les lits du Bolderberg et l'argile Rupélienne, il existe en Belgique une grande lacune, qui semblerait être comblée, suivant M. Beyrich, dans le nord de l'Allemagne, par ce qu'il appelle les couches de Sternberg, et que Dumont, s'il les eût trouvées en Belgique, aurait probablement désignées sous le nom de Rupélien supérieur.

COUCHES DU MIOCÈNE INFÉRIEUR D'ANGLETERRE.

Couches de Hempstead, île de Wight. — Nous avons vu que la période du Miocène Supérieur est représentée pauvrement et d'une manière douteuse en Angleterre, sur les Downs du Nord, par certains sables ferrugineux de l'âge des couches Diestiennes de Belgique. La période du Miocène Inférieur est représentée d'une façon plus marquée dans l'île de Wight par certaines couches, dont l'âge vrai n'avait pas été reconnu jusqu'en 1852, époque à laquelle feu Edward Forbes (2) observa qu'il existait une série de couches tertiaires, près de Yarmouth, plus nouvelles que celles de Binstead et de Bembridge. Ces dernières formations sont positivement l'équivalent du gypse de Paris, car elles sont caractérisées par les mêmes espèces de *Paleotherium*, *Anoplotherium*, etc., que celles de Montmartre dont Cuvier a fait la description. Les dépôts du Miocène Inférieur dont nous avons parlé, sont riches en fossiles et forment une épaisseur de 50 mètres ; ils ont été désignés sous le nom de série de Hempstead, à cause de la colline de ce nom située près de Yarmouth (3). Voici l'ordre de succession des couches.

(1) D'Archiac, *Monogr.*, p. 79, 100.

(2) E. Forbes, *Geol. Quart. Jour.*, 1853.

(3) Cette colline ne doit pas être confondue avec celle de Hampstead, près de Londres, où l'Éocène Inférieur, ou Argile de Londres, est recouvert par les sables de l'Éocène Moyen.

SOUS-DIVISIONS DE LA SÉRIE DE HEMPSTEAD.

1. Les lits supérieurs ou à *Corbules*, composés de sables marins et d'argiles qui contiennent la *Voluta Rathieri*, coquille caractéristique du Miocène Inférieur, *Corbula pisum* (fig. 171), espèce commune à l'argile de l'Éocène

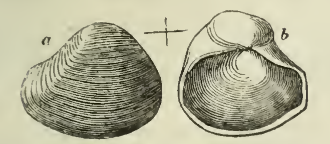


Fig. 171. — *Corbula pisum*, couches de Hempstead (île de Wight).



Fig. 172. — *Cyrena semistriata*, couches de Hempstead.

Supérieur de Barton ; *Cyrena semistriata* (fig. 172), plusieurs *Cerithia* et diverses coquilles particulières à la série.

2. Immédiatement au-dessous viennent des marnes d'eau douce et d'estuaire, ainsi que des argiles charbonneuses qui présentent abondamment, dans leur partie formée par l'eau saumâtre, le *Cerithium plicatum*, Lam. (fig. 173), le *C. elegans* (fig. 174), le *C. tricinctum*, et aussi la *Rissoa Chastelii* (fig. 175), coquille très-commune de Kleyn-Spawen, et qu'on rencontre dans chacune des quatre sous-divisions de la série de Hem-



Fig. 173. *Cerithium plicatum*, Lam. (Hempstead).



Fig. 174. *Cerithium elegans* (Hempstead).

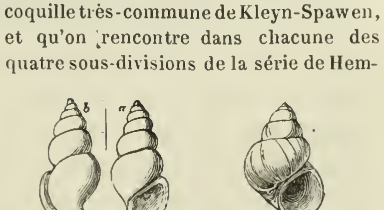


Fig. 175. *Rissoa Chastelii*, Nyst. Sp. Hempstead (île de Wight).



Fig. 176. *Paludina lenta*, lit de Hempstead.

pstead, vers la base, où elle passe aux couches de Bembridge. Dans la portion d'eau douce des mêmes lits, on trouve la *Paludina lenta* (fig. 176), coquille que certains conchyliologistes ont identifiée avec une espèce encore vivante, *P. unicolor*, et différentes espèces de *Lymneus*, *Planorbis* et *Unio*.

3. La série suivante, composée de marnes d'eau douce et d'estuaire, moyennes, est caractérisée par la présence des *Melania fasciata*, *Paludina lenta* et par des argiles à *Cypris* ; le lit inférieur fournit la *Cyrena semistriata* (fig. 172) avec des *Cérithes* et une *Panopée*.

4. Marnes inférieures d'eau douce et d'estuaire, contenant la *Melania costata*,

Sow., la *Melanopsis*, etc. Le lit qui occupe la base est charbonneux; on lui a donné le nom de *Bande noire* (*Black band*); la *Rissoa Chastelii* (fig. 175), déjà citée, y est commune. Ce lit offre un mélange des coquilles de Hempstead avec celles de l'Éocène Supérieur sous-jacent ou série de Bembridge. Les mammifères, parmi lesquels on cite une espèce d'*Hyopotamus*, diffèrent, autant du moins qu'on les connaît, de ceux des lits de Bembridge. Parmi les plantes, le Professeur Heer cite quatre espèces communes au lignite de Bovey-Tracey, formation du Miocène Inférieur que nous allons décrire; ces espèces sont: les *Sequoia Couttsiæ*, Heer; *Andromeda reticulata*, Etting; *Nymphæa doris*, Heer; et *Carpolithes Websteri*, Brong. (1). Les enveloppes de graines du *Chara medicaginula*, Brongn., et *C. helecteres*, sont généralement caractéristiques des lits de Hempstead.

L'*Hyopotamus* appartient au genre porc, à la même famille que l'*Anthracotherium*, dont sept espèces, variant de taille depuis celle de l'hippopotame jusqu'à celle du sanglier, ont été trouvées en Italie et dans d'autres parties de l'Europe, associées avec les lignites de la période du Miocène Inférieur.

Lignites et argile de Bovey-Tracey, Devonshire. — Enclavée dans le granite et les autres roches des collines de Dartmoor dans le Devonshire, existe une formation d'argile, sable et lignite, connue depuis longtemps par les géologues sous le nom de Bovey-Coal, et sur laquelle les opinions ont été fort incertaines jusqu'en 1861. Ce dépôt est situé à Bovey-Tracey, village distant de 17 kilomètres d'Exeter au Sud-Ouest, et à peu près aussi éloigné de Torquay dans la direction Nord-Ouest. Les couches qui s'étendent sur une plaine de 14 kilomètres de longueur, consistent en détritus de matière végétale décomposés et de granits usés à la base; elles paraîtraient avoir comblé une ancienne cavité de lac ou expansion des vallées du Bovey et de la Teign.

Le lignite est de mauvaise qualité pour les usages domestiques, car il renferme une proportion considérable de pyrites de fer, et produit de la vapeur sulfureuse, mais il a été employé avec succès dans la cuisson de la poterie, pour la fabrication de laquelle certaines argiles fines de cette formation

(1) Pengelly, *Preface to the Lignite Formation of Bovey Tracey*, p. 17, London, 1863.

conviennent parfaitement. M. Pengelly pense, comme Sir H. de la Bêche, que la plus grande partie supérieure de cette ancienne formation lacustre a été enlevée par l'effet de la dénudation (1).

A la surface, on rencontre une couche épaisse d'argile et de gravier, avec des pierres angulaires appartenant probablement à la période Post-pliocène, car l'argile renferme trois espèces de saule et le bouleau nain, *Betula nana*, indiquant un climat plus froid que le climat actuel du Devonshire.

Au-dessous de ces formations se trouvent des dépôts du Miocène Inférieur d'une épaisseur d'environ 90 mètres, et dont la partie supérieure est formée de vingt-six couches de lignite, argile et sable, ayant pour base du sable ferrugino-quartzeux d'une épaisseur qui varie de 6 décimètres à 8 mètres. Ce sable repose sur quarante-cinq lits alternativement composés de lignite et d'argile. On n'a découvert jusqu'à ce jour dans ces formations, ni coquilles, ni ossements de mammifères, ni même un insecte, à l'exception d'un débris de coléoptère (*Buprestis*); en un mot, on a trouvé des plantes, mais pas de restes organiques. On rencontre ces plantes dans quatorze couches, savoir, dans deux d'argile et le reste dans les lignites. L'une de ces couches constitue un véritable matelas formé des débris d'un arbre conifère, *Sequoia Couttsiæ* de Heer, mêlés à des feuilles de fougères. Cette même Sequoia est répandue dans toutes les parties de la formation; ses cônes, ses semences et ses branches de tout âge sont parfaitement conservés. Cette espèce sert à relier la *S. Langsdorfii* (voir fig. 201, 202) à la *S. Sternbergi*, représentants fossiles largement répandus des deux arbres vivants *S. sempervirens* et *S. gigantea* (ou Wellingtonia) qui poussent exclusivement en Californie. Une autre couche est remplie de grands rhizomes de fougère, et deux autres sont riches en feuilles de dicotylédons. Le Professeur Heer

(1) *Phil. Trans.*, 1863. Paper by W. Pengelly, F. R. S. and Dr Oswald Heer.

compte pour le tout quarante-neuf espèces de plantes, sur lesquelles vingt sont communes au Miocène du Continent, et caractéristiques pour la majeure partie du Miocène Inférieur. Les espèces nouvelles, provenant également de Bovey, sont de la même famille que les plantes appartenant aux dépôts du vieux Miocène de Suisse, d'Allemagne, et d'autres régions continentales. Les argiles fournissent des pepins de raisins de deux espèces de vignes, les feuilles de trois espèces de figues, des graines que l'on suppose appartenir à trois nouvelles espèces de l'arbre Nyssa ou Tupelo, genre commun de nos jours dans les marais de la Caroline du Sud et de la Floride, deux espèces d'Annona, et un nouveau nénufar. Le chêne et le laurier y ont laissé de nombreuses feuilles, et trois ou quatre des lauriers à triple nervure appartiennent au genre *Cinnamomum*. On y a découvert aussi un palmier, dont le genre n'est pas déterminé. Parmi les Protéacées on cite : *Dryandoïdes Hakeæfolia* (fig. 198), *D. Banksiæfolia,* etc.; parmi les bruyères, la fossile continentale bien connue *Lastræa stiriaca* (fig. 203) avec ses organes de fructification visibles à Bovey aussi bien qu'en Suisse.

Les crosses de la plupart des jeunes fougères sont dans un état parfait de conservation, et ont été prises au premier abord par les collectionneurs pour des coquilles du genre *Planorbis*. En somme, la végétation de Bovey implique l'existence d'un climat sous-tropical dans le Devonshire, pendant la période du Miocène Inférieur.

Écosse. — Ile de Mull. — Dans les falaises qui forment le promontoire d'Ardtun, sur la côte occidentale de Mull, dans les Hébrides, plusieurs bandes de formation tertiaire, contenant des feuilles de plantes dicotylédonées, ont été découvertes en 1851 par le Duc d'Argyle (1). D'après la description qu'il en a donnée, il y aurait trois lits à feuilles, variant de $0^m,45$ à $0^m,75$ d'épaisseur, et alternant avec un trapp et un tuf volcanique, le tout d'une épaisseur de

(1) *Quart. Geol. Journ.*, 1851, p. 89.

40 mètres environ. Une coulée de basalte haute de 12 mètres recouvre la masse totale ; on voit à la base de la falaise un autre lit colonnaire de la même roche, épais de 3 mètres. Une des couches à feuilles n'est qu'une masse comprimée de ces sortes d'organes dépourvus de tiges ; on dirait que les feuilles ont été poussées par le vent dans un marais où croissait une espèce d'*Equisetum*, dont on retrouve d'abondants débris dans l'argile.

Le Duc d'Argyle suppose que cette formation s'est accumulée dans un lac ou marais peu profond, près d'un volcan qui répandait des pluies de cendres et des torrents de lave. L'enveloppe tufacée de ces fossiles a pu tomber dans le lac sous forme de poussière volcanique, ou être entraînée des terres voisines par les eaux. On peut décider, même sans le secours des restes organiques, que le dépôt est certainement plus moderne que la craie, car des silex contenant des fossiles crétacés y ont été découverts par le Duc, dans la masse principale de tuf ou cendre volcanique (1).

Le Professeur Forbes observa que certaines plantes de cette formation ressemblent à celles de Croatie, décrites par Unger, et son opinion a été confirmée par le Professeur Heer, qui a constaté que le conifère qui y dominait était la *Sequoia Langsdorfii* (fig. 201, 202), avec le *Corylus grosse-dentata*, espèce du Miocène Inférieur de Suisse et de Menat en Auvergne. On y trouve également un platane, dont les feuilles ressemblent à celles du *Platanus aceroides* (fig. 187, p. 405) et une fougère jusqu'ici particulière à Mull, *Filicites hebridica*, Forbes.

Ces découvertes intéressantes faites à Mull conduisent naturellement à se demander si le basalte d'Antrim en Irlande et de la célèbre Chaussée des Géants n'est point du même âge, car, à Antrim, le basalte repose sur la craie, et sa masse supérieure recouvre partout un lit de lignite et de charbon dans lequel est conservé, avec fibres intactes, un

(1) *Quart. Geol. Journ.*, 1851, p. 89.

bois évidemment dicotylédone. L'absence générale, dans les îles Britanniques, de couches d'un âge intermédiaire entre les formations des périodes Éocène et Pliocène, peut être attribuée, dit le Professeur Forbes, à l'étendue qu'avait, en ce pays, la terre ferme durant l'immense intervalle de temps dont il s'agit. S'il y eût eu réellement prédominance de la terre ferme, les seuls monuments d'âge Miocène que l'on pourrait rencontrer aujourd'hui seraient ceux d'origine lacustre et volcanique, tels que le Bovey Coal dans le Devonshire, les lits d'Ardtun dans l'île de Mull, ou les lignites et les basaltes qui leur sont associés à Antrim.

FORMATIONS DU MIOCÈNE EN ALLEMAGNE.

Bassin de Mayence. — Le Docteur F. Sandberger a publié une description consciencieuse des formations tertiaires de Mayence, lesquelles, par une étendue qui varie entre 8 et 20 kilomètres, occupent toute la rive gauche du Rhin depuis Mayence jusqu'aux environs de Manheim, et se rencontrent encore à l'est, au nord et au sud-ouest de Francfort. M. de Koninck, de Liége, a fait voir que la partie purement marine de ce dépôt contenait plusieurs espèces de coquilles communes aux couches du Limbourg près de Kleyn-Spawen, et à l'argile de Rupelmonde près d'Anvers. Il a mentionné, entre autres, les *Cassidaria depressa, Tritonium argutum*, Brander (*T. flandricum*, De Koninck), *Tornatella simulata*, *Aporrhais Sowerbyi*, *Leda Deshayesiana* (fig. 170), *Corbula pisum* (fig. 171), et *Pectunculus terebratularis*.

Dans le voisinage de ces couches du bassin de Mayence, on trouve en premier lieu les sables d'Eppelsheim, contenant le *Dinotherium giganteum*, et d'autres quadrupèdes du groupe Falunien ou du Miocène Supérieur. En second lieu, la partie supérieure de la série de Mayence se compose de ce qu'on appelle le Calcaire Littorinella, renfermant, entre

autres mammifères, les *Hippotherium gracile*, *Acerotherium* (*Rhinoceros*) *incisivum*, *Paleomeryx* et *Chalicomys*, tous caractéristiques de la Faune du Miocène Inférieur.

La coquille (fig. 177), qui a donné son nom au calcaire ci-dessus mentionné, ressemble beaucoup à la récente *Littorinella* ou *Rissoa* (*ulva*). Ces coquilles ne dépassent guère la grosseur d'un grain de riz, et existent souvent en quantité telle, qu'elles constituent des lits entiers de marne et de calcaire, en masses stratifiées de 4 à 8 mètres d'épaisseur ; on voit aujourd'hui se former sur le fond de la mer Baltique des accumulations semblables de *Littorinella ulva*, qui atteignent 9 mètres d'épaisseur sur de larges surfaces. Au sein des mêmes lits abondent plusieurs espèces de *Dreissena*, forme commune aux dépôts Headon ou couches de l'Éocène Supérieur de l'île de Wight, ainsi qu'aux mers actuelles.



FIG. 177. *Paludina* (Mayence).

Parmi les plantes que M. Ludwig a obtenues des couches argileuses de la série calcaire Littorinella, il en est plusieurs qui occupent une large place dans la période Miocène, mais deux d'entre elles, suivant Heer, les *Dryandoïdes Banksiæfolia* et *D. arguta*, sont caractéristiques du Miocène Inférieur, c'est-à-dire des lits sous-jacents aux Faluns ou Molasse Marine de Suisse.

Immédiatement au-dessous de ces couches viennent les marnes, contenant les *Cyrena semistriata, Cerithium publicatum*, *C. margaritaceum* et *C. Lamarckii* (1). Ces marnes, ainsi que l'argile sous-jacente renfermant la *Leda Deshayesiana*, seraient identiques au Rupélien de Dumont, tandis que les sables coquilliers de Wessheim, près d'Alzey, supposés un peu plus anciens, correspondraient au Grès de Fontainebleau.

Couches du Miocène Supérieur du bassin de Vienne. — Dans le sud de l'Allemagne, on connaît depuis

(1) Sandberger, *Bulletin*, t. XVII, p. 153, 1860.

longtemps la ressemblance des coquilles du bassin tertiaire de Vienne avec celle des faluns de Touraine. Dans les planches de l'excellent ouvrage du Docteur Hornes sur les mollusques fossiles de cette formation, on observe plusieurs coquilles qui sont évidemment de la même espèce que celles des sables faluniens de Touraine.

Suivant le Professeur Suess, les couches du Miocène, les plus anciennes et purement marines, se composent, dans ce bassin, de sables, de conglomérats, de calcaires et d'argiles; elles sont inclinées en dedans, c'est-à-dire des bords de la cavité vers le centre, et leurs affleurements saillants s'élèvent à une plus grande hauteur que les couches plus nouvelles, Miocène ou Pliocène, dont elles sont recouvertes et qui occupent une surface moins étendue à une élévation inférieure au-dessus de la mer. M. Hornes a décrit 500 espèces de gastéropodes, dont il identifie un cinquième avec les espèces vivantes de la Méditerranée, des mers de l'Inde et de l'Afrique; mais dans les bivalves Lamellibranches, la proportion des espèces vivantes est beaucoup plus grande. On distingue, parmi les univalves nombreux, identiques avec ceux d'Afrique, sur la côte orientale de l'Atlantique, les *Cypræa sanguinolenta*, *Buccinum lyratum* et *Oliva flammulata*. On a découvert dans les lits marins les plus bas du Bassin de Vienne les restes de plusieurs mammifères, entre autres une espèces de *Dinotherium*, un Mastodonte de la famille *Trilophodon*, un Rhinocéros (de la famille du *R. megarhinus*, Christol), un *Listriodon*, Meyer (du genre porc) et un animal carnivore de l'espèce canine.

Tous les fossiles que nous venons d'énumérer sont accompagnés de l'*Helix turonensis* (fig. 45, p. 49), coquille terrestre la plus commune dans les faluns de France. Un groupe plus élevé de la série Miocène de Vienne fournit les *Dinotherium giganteum*, *Mastodon longirostris*, *Rhinoceros Schleiermacheri*, *Acerotherium incisivum* et *Hippotherium garcile*, tous également caractéristiques du dépôt du Miocène Supérieur d'Eppelsheim, dans la Hesse-Darmstadt. M. Alcide

d'Orbigny a montré que les foraminifères du bassin de Vienne diffèrent des espèces de l'Éocène et du Pliocène et concordent avec celles des faluns, autant du moins qu'on connaît ces dernières. Parmi les foraminifères de Vienne, le genre *Amphistegina* est très-caractéristique (fig. 178), et

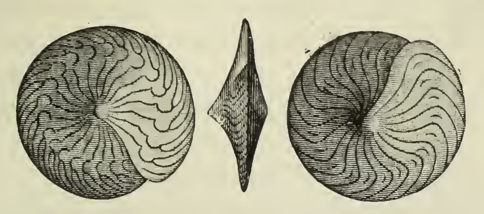


Fig. 178. — *Amphistegina Hauerina*, D'Orb. Couches du Miocène Supérieur (Vienne).

M. d'Archiac suppose qu'il doit prendre la même place parmi les Rhizopodes du Miocène supérieur que celle qu'occupent les Nummulites dans la période Éocène.

La faune du bassin de Vienne fournit des espèces qui trouvent généralement leur rang dans les diverses phases de la période Miocène, tels que *Cinnamomum polymorphum* (fig. 188), *C. Scheuchzeri*, *Planera Richardi*, Mich. (fig. 205), *Liquidambar europæum* (fig. 160), *Juglans bilinica*, *Cassia ambigua* et *C. lignitum*. On y trouve aussi une ou deux formes du Vieux Miocène, avec quelques plantes du Miocène Supérieur d'Œningen, en Suisse, tels que *Platanus aceroides* (fig. 187), *Myrica vindobonensis*, Heer, etc.

Couches du Miocène Inférieur en Croatie. — Le *Brown Coal* de Radaboj, près d'Agram en Croatie, non loin des frontières de la Styrie, est recouvert, dit Von Buch, par des couches contenant les coquilles marines de Vienne, c'est-à-dire par les formations du Miocène Supérieur ou Faluniennes. Elles paraissent correspondre en âge au bassin de Mayence ou au groupe Rupélien de Belgique. Elles ont fourni plus de 200 espèces de plantes fossiles, dont le Professeur Unger a donné une description admirable, et qui sont enfouies dans une marne durcie qui les a parfaitement conservées. On y distingue plusieurs palmiers, entre autres le Sabal (fig. 197,

p. 412) et un autre genre se rapprochant du dattier, le *Phenicites spectabilis*. Parmi les fossiles de ces mêmes marnes, on trouve aussi une fougère appelée *Woodwardia Rössneriana*, qui sera signalée dans le chapitre suivant (fig. 195, p. 411). Les couches du Radaboj ne fournissent abondamment qu'une seule plante caractéristique de la période du Miocène Supérieur, c'est le *Populus mutabilis*, tandis que 50 espèces au moins de cette formation sont communes à la flore plus ancienne de la Molasse Inférieure de Suisse.

La faune des insectes est très-riche et indique, comme la flore, un climat plus tropical que celui des fossiles d'Œningen, dont nous allons parler. On y remarque 10 espèces de Termités, ou fourmis blanches, quelques-unes d'une taille gigantesque, et de grandes mouches-dragons avec des ailes tachetées, analogues à celles des États-Unis de l'Amérique du Nord ; on y voit aussi des sauterelles énormes et des représentants de la classe des lépidoptères. Dans un cas, on a découvert dans la marne dure de Radaboj une aile de papillon qui avait échappé à la destruction ; quand on réfléchit à l'intervalle de temps qui nous sépare de l'époque re-

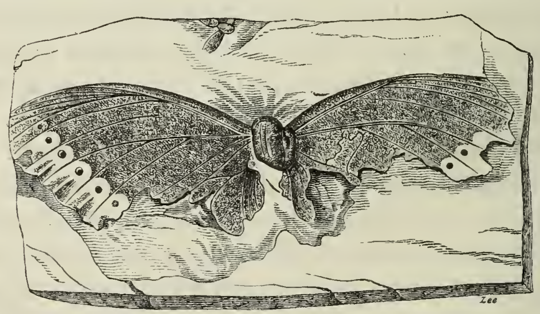


FIG. 179. — *Vanessa Pluto*, grandeur naturelle. Miocène Inférieur, Radaboj (Croatie).

culée depuis laquelle cet échantillon nous a été si religieusement transmis, on peut avoir une certaine confiance dans l'authenticité des caractères que d'autres insectes d'une texture plus durable, tels que les coléoptères, peuvent fournir

pour la détermination des espèces. Le Vanessa représenté ci-dessus, dit Heer, a conservé quelques-unes de ses couleurs, et correspond au *V. Hadena* de l'Inde.

Les lignites désignés sous le nom de Brown-Coal, en Allemagne, appartiennent, pour la plupart, à l'époque du Miocène Inférieur, et dans ce groupe on peut citer ceux du Siebengebirge, près de Bonn, qui sont associés à des roches volcaniques.

Le Professeur Beyrich, dans son travail important, *Mémoires sur les couches tertiaires du nord de l'Allemagne* (1), nous a fait connaître l'existence d'une longue succession de couches marines qui conduisent, par une transition presque graduelle, des lits du Sternberg (voir ci-dessus p. 382), se rapprochant pour l'âge des faluns de la Loire, à d'autres formations de même date que le Tongrien de Dumont, déjà cité, p. 378, comme constituant la base du Miocène. Conformément à la méthode que j'ai anciennement adoptée, M. Beyrich a appliqué exclusivement le terme Miocène aux faluns de Touraine et aux couches de cette période, mais il a proposé le nouveau terme *Oligocène* pour toutes les formations inférieures, en descendant jusqu'à l'Éocène Supérieur. Il désigne les couches du Sternberg sous le nom d'*Oligocène Supérieur*, il rapporte les cinq divisions suivantes, entre autres le bassin de Mayence, le Calcaire de la Beauce et le Grès de Fontainebleau, à l'*Oligocène Moyen*, et le reste à l'*Oligocène Inférieur*, y compris les lits d'Egeln et les lignites du nord de l'Allemagne du même âge que le Tongrien Inférieur de Dumont. La difficulté de tracer une ligne de démarcation entre ces dernières formations de l'Éocène, est précisément la même que celle de séparer le Miocène Inférieur de l'Éocène (comme nous l'avons défini dans les chapitres précédents) en France et en Belgique. D'après toutes ces considérations, ce qui me paraît le plus convenable, c'est d'adopter la classification admise depuis longtemps par plu-

(1) *Abhandlungen der Königl. Acad. der Wissen.* zu Berlin, 1855, et *ibid.*, 1858, p. 59.

sieurs auteurs, qui considèrent le gypse de Montmartre comme la sous-division supérieure de celles qui composent l'Éocène. Si l'on peut démontrer qu'une partie quelconque du Tongrien de Dumont, ou des couches d'Allemagne classées par Beyrich dans l'Oligocène Inférieur, est exactement contemporaine du gypse de Paris ou des couches de Bembridge dans l'île de Wight, je me déciderai alors à séparer ces formations du Miocène Inférieur, et à les considérer comme appartenant à l'Éocène Supérieur. L'état actuel de nos connaissances ne nous permet de tracer, dans tous les cas, qu'une ligne de démarcation arbitraire, ou de pure convention, comme j'aurai l'occasion de le démontrer en décrivant dans le seizième chapitre les formations de l'Éocène Supérieur de l'île de Wight.

Couches Miocènes d'Italie. — Nous sommes redevables au Signor Michelotti d'un remarquable travail sur les coquilles Miocènes de l'Italie septentrionale, que l'on a trouvées dans une colline appelée Superga, près de Turin. Ces coquilles, longtemps connues pour être d'un âge correspondant à celui des faluns de Touraine, renferment en si grand nombre des espèces communes aux couches du Miocène Supérieur de Bordeaux, que M. Tournouer en a été amené à conclure qu'il existait une libre communication entre la partie septentrionale de la Méditerranée et la baie de Biscaye, pendant la période du Miocène Supérieur. Dans la chaîne des collines, dont la Superga forme une partie, on voit une grande série de couches tertiaires dont la portion inférieure passe au Miocène Inférieur. On remarque dans cette Superga des plantes fossiles qui, suivant Heer, n'ont jamais été vues en Suisse à une hauteur atteignant celle de la Molasse Marine, la *Banksia longifolia*, par exemple, et le *Carpinus grandis* (1). Dans plusieurs parties des Alpes Liguriennes, comme à Dego et à Carrare, apparaît ce Miocène Inférieur, avec des nummulites, et à Cadibona, au nord de

(1) *Recherches sur le climat et la végétation du pays tertiaire*, par Oswald Heer, 1851.

Savone, on rencontre des couches d'eau douce du même âge, avec des lits épais de lignites contenant des restes d'*Anthracotherium magnum* et *A. minimum* et d'autres mammifères énumérés par Gastaldi. On a découvert enfin dans ces formations un grand nombre de plantes du Miocène Inférieur de Suisse.

Formations du Miocène Supérieur en Grèce. — A Pikermé, près d'Athènes, MM. Wagner et Roth ont trouvé et décrit un dépôt contenant les restes des genres *Mastodon*, *Dinotherium*, *Hipparion*, *Antelope*, deux *Girafes*, etc., les uns d'espèces vivantes, les autres d'espèces éteintes. A ces restes étaient associés des ossements fossiles du *Semnopithecus*, prouvant que là, comme dans le midi de la France, les quadrumanes étaient caractéristiques de cette période. L'ensemble de la faune atteste anciennement l'existence d'une vaste étendue de plaines couvertes de pâturages, remplacées aujourd'hui par la contrée montagneuse et accidentée de la Grèce. Ces plaines, qui se prolongeaient probablement jusque dans l'Asie Mineure, composaient la surface qu'occupe aujourd'hui, en partie, la mer Égée aux eaux profondes, avec ses îles nombreuses.

CHAPITRE XV

FORMATIONS DU MIOCÈNE (SUITE).

Couches Miocènes de Suisse. — Lits du Miocène Supérieur d'Œningen. — Importance des plantes fossiles. — Ouvrage de Heer sur la Flore Miocène de Suisse. — Plantes et insectes d'Œningen enfouis à des saisons différentes. — Fruits, fleurs et feuilles fossiles. — Molasse Marine ou Moyenne de Suisse. — Molasse Inférieure ou Miocène Inférieur. — Conglomérats denses et preuves d'abaissement. — Plantes fossiles plus tropicales du Miocène Inférieur. — Prédominance des espèces arborescentes. — Discordance supposée dans le nombre des espèces vivantes de plantes par rapport à celui des coquilles dans les formations du Miocène Supérieur. — Théorie d'une Atlantide Miocène. — Les plantes américaines qui abondent dans le Miocène d'Europe ont-elles été transportées par la route de l'est ou par celle de l'ouest ? — Objections tirées de la profondeur et de la largeur de l'Atlantique, — Arguments en faveur d'une migration Trans-Asiatique. — Fossiles miocènes de l'Orégon. — Identité des coraux miocènes des Indes occidentales avec ceux d'Europe, opposée à la théorie d'un continent atlantique. — Formations du Miocène Supérieur dans l'Inde. — Collines Sub-Himalayennes ou Siwâlik. — Formations du Vieux Pliocène et du Miocène dans les États-Unis d'Amérique.

COUCHES MIOCÈNES DE SUISSE.

Lits du Pliocène supérieur d'Œningen. — Les faluns de le Loire furent pris d'abord, ainsi que nous l'avons dit (p. 340), comme type des formations Miocènes en Europe, ils donnèrent une abondante moisson de coquilles fossiles et de zoophytes, mais se trouvèrent complétement dépourvus de plantes et d'insectes. D'autre part, on découvrait en Suisse des dépôts du même âge, remarquables par leurs richesses botaniques et entomologiques.

Nous sommes redevables au Professeur Heer de Zurich de la description, de la découverte et de la classification de 900 espèces de ces plantes fossiles, toutes reproduites par d'excellentes figures dans sa *Flora Tertiaria Helve-*

tiæ (1). Dans ce grand ouvrage, il a accompli pour la botanique des formations tertiaires ce que son éminent prédécesseur, Adolphe Brongniart, avait fait pour les plantes fossiles des roches primaires et secondaires. MM. Unger et Goppert, par leur remarquable description des plantes du Brown-Coal d'Allemagne, avaient déjà préparé les géologues à l'idée qu'un jour viendrait où la botanique jouerait un rôle presque aussi important que la conchyliologie pour l'identification et le classement des couches moyennes tertiaires. Cependant il est certains botanistes du plus haut mérite qui ont toujours professé des doutes assez grands sur la question de savoir si les restes fossiles du règne végétal pourraient jamais fournir des preuves suffisantes pour déterminer les espèces, même les genres ou familles de plantes dont il ne restait que des feuilles enfouies dans les roches. Il faut avouer qu'avant de pouvoir utiliser tous ces restes, une science nouvelle était à créer ; il était nécessaire d'étudier les contours, les nervures et la structure microscopique des feuilles avec un soin que n'avait jamais exigé la classification des plantes vivantes, dans lesquelles le fruit et la fleur montrent des caractères si supérieurement définis et si satisfaisants. Comme géologues, nous ne saurions avoir trop de reconnaissance envers ceux qui, loin de désespérer en présence d'une tâche si difficile, sont entrés pleins de confiance et d'ardeur dans la voie nouvelle et inexplorée. Qu'ils aient fréquemment commis des erreurs, c'était inévitable ; mais un fait remarquable qui ressort surtout de l'étude historique des recherches du Professeur Heer, c'est que souvent des conjectures hasardées, quant au genre et à la famille de plantes dont on n'avait trouvé que les feuilles, se sont plus

(1) Cet ouvrage, en 3 volumes, renfermant 155 planches in-folio de plantes fossiles, a été publié à Winterthur, en 1855-1859, et une traduction française des chapitres qui ont rapport à la géologie, à la botanique et au climat des couches miocènes de Suisse, éditée par le Professeur Heer et M. Ch.-Th. Gaudin, a paru en 1862, sous ce titre : *Recherches sur le climat et la végétation du Pays Tertiaire.*

tard confirmées lorsqu'on a obtenu des informations complètes, c'est-à-dire quand le fruit, et dans certains cas le fruit et la fleur se trouvaient attachés à la même tige que les feuilles décrites antérieurement à cette découverte. Nous ne saurions oublier également qu'un botaniste habile, en consacrant sa perspicacité et son esprit de discernement à la classification des feuilles suivant leurs formes, leurs veines et leur texture microscopique, peut devenir un auxiliaire important du géologue, au point de vue paléontologique, au cas même où il avancerait des opinions erronées, quant aux affinités génériques ou ordinales des plantes en question. Son aptitude à reconnaître l'identité de fossiles semblables dans deux localités distantes l'une de l'autre, ou dans deux formations distinctes, peut résoudre une question controversée de chronologie, lorsqu'il n'existe pas d'autre preuve; et les conclusions tirées de ces données, quant à l'âge relatif des couches, restent souvent valables, même quand on a plus tard la certitude que plusieurs espèces ou même des genres ont été formés en dehors des feuilles de la même plante, ou bien que le fruit et les feuilles d'un seul et même arbre ont été rapportés chacun à une famille différente.

Le nom de *Molasse* que l'on a donné aux formations Miocènes de Suisse, vient du mot français *mol*, et s'applique à un grès mou, incohérent, verdâtre, qui occupe la région située entre les Alpes et le Jura. Cette molasse comprend trois divisions; la moyenne est marine et les rapports intimes que ses coquilles établissent entre elle et les faluns de Touraine autorisent à la classer dans le Miocène Supérieur. Les deux autres divisions sont d'eau douce, la supérieure peut être également rangée avec les faluns, et l'inférieure appartient au Miocène Inférieur, tel que nous l'avons défini dans le dernier chapitre.

La Molasse supérieure d'eau douce qui nous occupera d'abord, peut être parfaitement étudiée à Œningen, dans la vallée du Rhin, entre Constance et Schaffhausen. Cette localité devint célèbre en 1700 par la découverte d'un

squelette supposé humain, que Scheuchzer avait appelé *homo diluvii testis*, fossile que les démonstrations de Cuvier réduisirent plus tard à n'être qu'un reptile, ou Salamandre aquatique, de plus grande dimension que son représentant vivant, déjà énorme, la salamandre du Japon.

Les couches d'Œningen forment une série de marnes et de calcaires, à feuilles minces pour la plupart, et qui se seraient accumulés lentement dans un lac, probablement alimenté par des sources tenant en solution du carbonate de chaux.

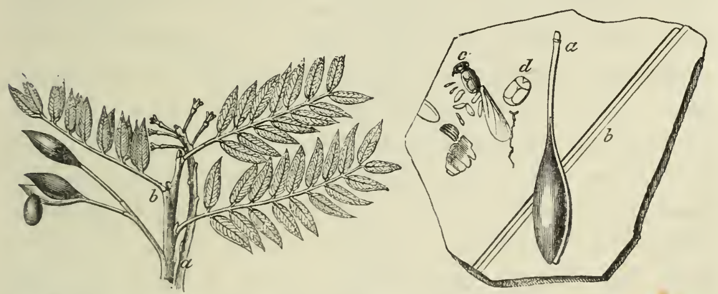
La surface elliptique recouverte par cette formation d'eau douce occupe, suivant Sir Roderick Murchison, une étendue de 16 kilomètres à l'est et à l'ouest de Berlingen, sur la rive droite de la rivière à Wangen, et sur la rive gauche à Œningen, près de Stein. Les restes organiques proviennent principalement de deux carrières ; l'inférieure est située à 167 mètres environ au-dessus du niveau du lac de Constance, et la supérieure domine celle-ci de 45 mètres. Une section de 9 mètres de profondeur dans cette carrière supérieure fait voir une succession considérable de couches, formées les unes de plaques et les autres de feuilles très-minces. Le professeur Heer a compté 21 de ces couches ; la supérieure se compose d'une marne gris bleuâtre de 2 mètres d'épaisseur, sans restes organiques, et repose sur un calcaire contenant des plantes fossiles, avec des feuilles de peuplier, de cinnamon et de potamot nageant (*Potamogeton*), mêlées à quelques insectes. Le lit n° 4 situé au-dessous est une roche bitumineuse, dans laquelle on trouve le *Mastodon angustidens*, quadrupède caractéristique du Miocène Supérieur. Le cinquième lit, d'une épaisseur de 2 à 5 centimètres, renferme des poissons fossiles du genre *Leuciscus* (*Roach*) et des larves de libellules, avec des plantes telles que l'orme (*Ulmus*) et la Chara aquatique. Au-dessous de ces couches sont disposés d'autres lits à plantes ; et puis, dans le n° 9 se trouve la pierre dans laquelle on a découvert la grande salamandre (*Andrias Scheuchzeri*) et quelques poissons.

Au-dessous de cette pierre, on rencontre d'autres couches avec poissons, tortues, la grande salamandre déjà citée, des moules d'eau douce et des plantes. Dans le n° 16, Sir R. Murchison a obtenu le renard fossile d'Œningen, *Galecymus Œningensis*, Owen, et puis se succèdent d'autres lits, avec mammifères (*Lagomys*), reptiles (*Emys*), poissons et plantes telles que le noyer, l'érable et le peuplier. On trouve dans le dix-neuvième lit un grand nombre de poissons, d'insectes, de plantes, et au-dessous, des marnes d'une couleur bleu-indigo.

On a compté, dans la carrière inférieure, onze couches, qui ont fourni, comme celles de la carrière supérieure, des plantes terrestres et d'eau douce, ainsi que de nombreux insectes. Dans le sixième lit, en partant du haut, on a obtenu plusieurs plantes, telles que les *Liquidambar, Daphnogene, Podogonium* et *Elm*, associées à des tortues, à des os et à des dents d'un quadrupède ruminant, appelé par H. V. Meyer, *Paleomeryx eminens*. Le n° 9 a reçu le nom de lit à insectes; cette couche, épaisse seulement de quelques centimètres, se fend en feuilles aussi minces que du papier, lorsqu'elle est exposée à un froid rigoureux. On trouve dans ces feuilles minces des plantes telles que les *Liquidambar*, *Daphnogène* et *Glyptostrobus*, avec d'innombrables insectes ordinairement distincts et dans un merveilleux état de conservation. Au-dessous de ce lit vient une marne bleu-indigo, analogue à celle du fond de la carrière supérieure, et reposant sur une marne jaune dont l'épaisseur, dit-on, est au moins de 9 mètres.

Toutes ces couches fossilifères ont évidemment été formées avec une extrême lenteur, et bien que leur agrégation ne soit pas d'une épaisseur considérable, et qu'elles n'aient été étudiées que sur une étendue restreinte dans les deux carrières dont nous avons parlé, elles nous donnent un aperçu de l'état de la vie animale et végétale pendant la période du Miocène Supérieur, comme on ne l'avait jamais obtenu dans aucune partie du monde. En 1859, le Professeur Heer avait

déjà déterminé 475 espèces de plantes et 900 insectes provenant des couches d'Œningen. Il suppose qu'une rivière débouchant dans un lac a entraîné dans celui-ci la plupart des feuilles et des insectes terrestres, ainsi que les carcasses de quadrupèdes, tels que le grand Mastodonte. Parfois, durant ces tempêtes, des brindilles et même des branches d'arbres, pourvues de leurs feuilles, auraient été arrachées et emportées jusqu'au lac. Des sources, contenant du carbonate de chaux, paraissent avoir fourni de la matière calcaire en solution, et avoir donné naissance à une espèce de travertin local, dans le fond duquel se seraient incrustés en tombant les corps organiques qui y seraient restés hermétiquement enfermés. Les lames, dit Heer, qui se succèdent immédiatement les unes aux autres dans ces couches, n'ont pas été formées toutes dans la même saison, car on peut voir, qu'à l'époque



Podogonium Knorrii. Miocène Supérieur d'OEningen et de plusieurs parties de l'Allemagne.

FIG. 180.
Restauration de la plante par le professeur Heer. — Frontispice, *Flora Tert. Hel.*, un tiers de grandeur naturelle.

FIG. 181.
a. *Pod. de P. Knorrii* (OEningen), un tiers de grandeur naturelle.
b. Feuille de graminée.
c. *Formica lignitum.*
d. *Hister coprolithorum.*

Heer, pl. 134, fig. 26.

de la formation des unes, certaines plantes étaient en fleur, tandis que dans la production des lames voisines, les mêmes plantes portaient des fruits mûrs. Cette assertion est confirmée par des preuves indépendantes tirées des insectes. Le principal lit à insectes dépasse rarement une épaisseur de 5 centimètres et se compose, suivant Heer, d'environ

250 lames semblables à des feuilles, qui furent déposées dans la source, les unes, lorsque le *Cinnamomum polymorphum* (p. 406) était en fleur; les autres, en été, lorsque les fourmis ailées étaient nombreuses et que les semences du peuplier et du saule étaient mûres; d'autres enfin, en automne, lorsque le même *Cinnamomum polymorphum* (fig. 188) était en fruits, ainsi que les liquidambar, chêne, clématite, etc.

Il paraîtrait que l'ancien lac avait sur ses bords une ceinture de peupliers et de saules, dont les feuilles innombrables auraient été ensevelies dans la vase. Sur quelques points, on trouve associée à ces feuilles une espèce de roseau, *Arundo*, qui était très-commune.

Parmi les arbrisseaux, le plus caractéristique est une plante légumineuse et papilionacée d'un genre éteint, appelée par Heer *Podogonium*, et dont on connaît deux espèces. On en a trouvé des brindilles entières (*a*, fig. 180), avec fleurs et toujours sans feuilles, les fleurs ayant évidemment fait leur apparition, comme cela arrive dans les espèces peuplier et saule, avant que les feuilles aient commencé de se montrer. On a obtenu d'autres spécimens avec fruits mûrs, et munis de feuilles, comme on le voit dans la branche *b*, fig. 180. Dans quelques-uns de ces échantillons, on distingue l'embryon et les cotylédons, dans d'autres, le calice et le jeune fruit. Les feuilles ressemblent à celles du tamarin, mais chaque gousse ne contient qu'une graine, tandis que la gousse du tamarin, d'un genre allié, en contient plusieurs.

La figure 181 représente une enveloppe à graines de cette plante à l'état de maturité, et dans la même lame mince une fourmi ailée, *Formica lignitum*, Heer. Une autre espèce de fourmi, également munie d'ailes, a été trouvée associée avec le *Podogonium* portant des fruits, et le Professeur Heer conclut de ce fait, que la graine de l'arbuste mûrissait en été, seule saison pendant laquelle prennent leur vol des essaims de fourmis mâles et femelles complètes, avec leurs ailes parfaitement développées; telles sont, en effet, les habitudes de la *Formica herculanea* vivante, qui se rap-

proche beaucoup de la *F. lignitum*. Dans la même lame, en *d*, se trouve une portion de coléoptère du genre Hister.

La flore du Miocène Supérieur d'Œningen est particulièrement importante, parce qu'elle fait connaître un grand nombre de genres dont on a retrouvé non-seulement les feuilles, mais encore le fruit et même la fleur, comme dans le cas cité du *Podogonium*. C'est ainsi qu'on a obtenu dix-neuf espèces d'érable, dont dix toujours pourvues de leur fruit. Bien qu'il n'existe pas de contrée du globe où fleurissent actuellement une si grande quantité d'érables, il ne nous est pas permis de supposer que le Professeur Heer ait



FIG. 182. — *Acer trilobatum*, forme normale. Heer, *Flora Tert. Helv.*, pl. 114, fig. 2, demi-diamètre de grandeur (une partie seule de la longue tige du fossile original est représentée). — Miocène Supérieur d'OEningen; trouvé aussi dans le Miocène Inférieur de Suisse.

créé de trop nombreuses espèces dans ce genre, quand on considère sa manière d'agir à propos de l'un de ces fossiles, l'*Acer trilobatum* (fig. 182, 183, 185). Cette plante compte un très-grand nombre de variétés tranchées qui ont reçu un nom et qui ont été représentées; les botanistes en considèrent trois seulement comme des espèces distinctes, tandis que six autres pourraient réclamer, avec un droit presque égal, une semblable distinction. La forme commune appelée *Acer trilobatum* (fig. 182), peut être prise comme le repré-

sentant normal du fossile d'Œningen, et la figure 183 serait



Fig. 183. — *Acer trilobatum.*

a. Feuille de variété anormale (Heer, pl. 110, fig. 16).
b. Feurs et bractées, forme normale (Heer, pl. 111, fig. 21).
c. Moitié d'enveloppe de graine (Heer, pl. 111, fig. 5).

une des variétés les plus divergentes, sa feuille ayant quatre lobes au lieu de trois.

La figure 185 nous montre un exemple remarquable de

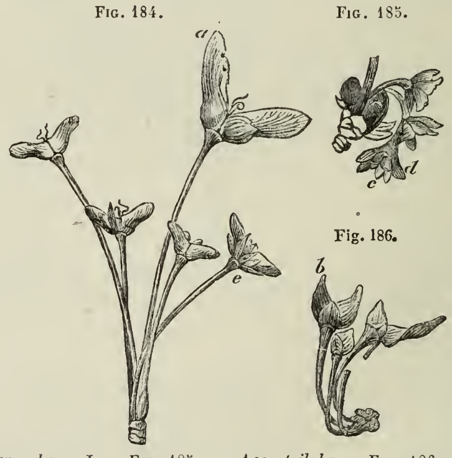


Fig. 184. — *Acer rubrum*, L., vivant dans l'Amérique du Nord. Heer, pl. 111, fig. 22; grandeur naturelle.
a. Carpelles.

Fig. 185. — *Acer trilobatum*, fossile, OEningen. Heer, pl. 155, fig. 9; grandeur naturelle.
c. Trois pétales de la corolle. *d.* Calice.

Fig. 186. — *Acer trilobatum.*
b. Les deux carpelles, Heer, pl. 111, fig. 18.

conservation de la fleur femelle, qui permet au botaniste de reconnaître la ressemblance entre les pétales de l'espèce

Miocène et ceux de l'espèce vivante, l'*Acer rubrum*, figure 184 (1).

De même, le spécimen fossile, fig. 186, *b*, fait voir combien les appendices en forme d'ailes de son enveloppe de graine sont plus aigus que ceux de l'espèce vivante la plus analogue, fig. 184, *a*.

Parmi les genres qui abondèrent, en Europe, dans la période Miocène, on distingue le platane, *Platanus*, espèce fossile se rapprochant beaucoup plus, suivant Heer, du *P. occidentalis* Américain que du *P. orientalis* de Grèce et de l'Asie Mineure. Quelques spécimens fossiles présentent la fleur mâle conservée. Comme sujets de comparaison avec les platanes que nous voyons dans les parcs et dans les squares de Londres, on a découvert, dans ces couches, des fragments fossiles du tronc de cet arbre, portant des morceaux de son écorce à moitié détachée.



Fig. 187. — *Platanus aceroïdes*. Göpp. Heer, pl. 88, fig. 5-8 Grandeur, deux tiers de diamètre. Miocène Supérieur, Œningen.
a. Feuille.
b. Cœur d'un faisceau de péricarpe.
c. Fruit ou péricarpe; grandeur naturelle.

On n'a pu encore obtenir des feuilles de hêtre ou de marronnier dans aucune formation de Suisse, bien qu'on ait trouvé des feuilles du premier dans les formations du même âge en Allemagne. Plusieurs espèces du genre laurier et spécialement le *Cinnamon* (fig. 188), caractérisent la flore des couches tant du Miocène Supérieur que du Miocène Inférieur, en Suisse et en Allemagne. Les feuilles de ce genre sont faciles à reconnaître, et servent souvent de guide fort utile au géologue ; on trouve également le fruit et la fleur de cette plante dans les lits d'Œningen.

Le Professeur Heer fait observer que le fruit dans la plante fossile (fig. 189, *a*), a une forme plus ovale que celui de la

(1) Heer, vol. III, p. 197.

plante récente du Japon, *C. camphora*, *b.* fig. 189, qui se rapproche le plus de la première, et que, dans le même fossile, le pédoncule n'a pas son extrémité supérieure épanouie comme dans la plante vivante.



Fig. 188. — *Cinnamomum polymorphum.* Ad. Brongniart.
a. Feuille.
b. Fleur; grandeur naturelle. Heer, pl. 93, fig. 28. — Miocènes Supérieur et Inférieur.



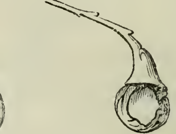


Fig. 189.
a. Fruit mûr du *Cinnamomum polymorphum*, d'OEningen. Heer, pl. 94, fig. 14.
b. Fruit du *Cinnamomum camphora* récent du Japon. Heer, pl. 152, fig. 18.

La vigne d'Œningen, *Vitis teutonica*, Ad. Brongniart, est un type de l'Amérique septentrionale, se rapprochant infiniment du *Vitis vulpina*, L.; on a trouvé des feuilles et des graines de cette vigne à Œningen, et des grappes pressées de la même espèce dans le Brown Coal (lignite) de Wetteravia, en Allemagne.

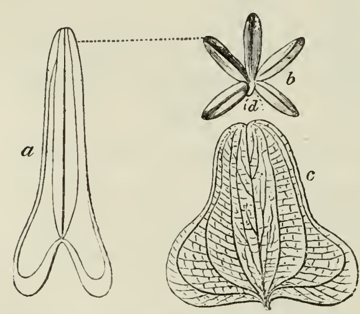


Fig. 190. — *Smilax sagittifera*, Heer, pl. 30, fig. 7; grandeur, un demi-diamètre.
a. Feuille.
b. Fleur agrandie; l'un des six pétales manque en *d.* Miocène Supérieur, OEningen.
c. Feuille de *Smilax obtusifolia*, Heer, pl. 30, fig. 9; grandeur naturelle. Miocène Supérieur, OEningen.

On rencontre jusqu'à huit espèces de Smilax (salsepareille), genre monocotylédoné, à Œningen et dans d'autres localités du Miocène Supérieur; les fleurs et les feuilles de la plupart de ces plantes sont parfaitement conservées, par exemple, de *S. sagittifera*, fossile très-commun (fig. 190 *a*).

Des plantes se rapportant à cinq genres de l'ordre des Pro-

téacées ont été retirées, partie d'Œningen, partie de la formation lacustre du même âge, à Locle, dans le Jura. Ces cinq genres, à l'exception du dernier, tous actuellement existants en Australie, sont les suivants : *Banksia*, *Grevillea*, *Hakea*, *Persoonia* et *Dryandoïdes*. On a obtenu des enveloppes de graines et des graines de l'Hakea, si bien qu'on peut les comparer avec les mêmes organes de la plante récente ; le fruit fossile a les mêmes dimensions que le fruit actuel, la différence que l'on peut remarquer en *d* et *b*, fig. 191, provenant uniquement de l'échelle de réduction qui n'est pas la même pour les deux figures. (Voir la description de la figure.)

Je parlerai plus longuement des Protéacées, quand je

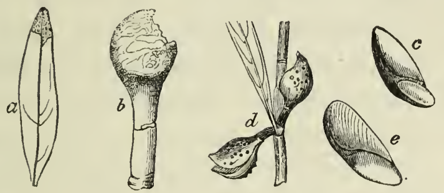


Fig. 191. — Fruit de l'espèce fossile et de l'espèce récente du *Hakea*, genre des *Protéacées*.

a. Feuille de l'espèce fossile, *Hakea salicina*. Miocène Supérieur, OEningen. *Embothrium* de Heer, pl. 97, fig. 29 ; un tiers de diamètre.
b. Fruit de la même espèce ; deux tiers de diamètre.
c. Graine, *ibid.* ; grandeur naturelle.
d. Fruit de l'espèce vivante d'Australie, *Hakea saligna*, R. Brown ; un demi-diamètre.
e. Semence de la même espèce; grandeur naturelle.

traiterai des plantes du Miocène Inférieur, période pendant laquelle cette famille a dominé bien plus encore en Europe. Dans ces mêmes couches de Locle, on rencontre, avec les Protéacées, un palmier-éventail du type Américain Sabal, genre que l'on trouve dans la contrée basse près de la mer, depuis les Carolines jusqu'à la Floride et la Louisiane.

Parmi les conifères du Miocène Supérieur, on a trouvé un cyprès à organes décidus, allié de près au *Taxodium distichum* de l'Amérique du Nord, et au *Glyptostrobus*, fig. 192, et ressemblant beaucoup au *G. heterophyllus*

Japonais, si commun aujourd'hui dans nos plantations.

On a constaté la présence, dans la carrière supérieure d'Œningen, de restes du *Mastodon angustidens*, et l'association d'un fossile falunien si caractéristique avec la flore décrite ci-dessus est fort importante, car elle sert à fixer l'âge véritable de ces couches qui datent du Miocène Supérieur. En 1857, M. Ziegler me montra, au Muséum de Winterthur en Suisse, deux magnifiques spécimens de crânes et de mâchoires de ce même Mastodonte, provenant d'un jeune et d'un adulte déterminés par le Docteur Falconer; ils avaient été trouvés dans le voisinage, à Veltheim, dans des couches appartenant, comme celles d'Œningen, à la molasse d'eau douce supérieure. En cet endroit, cette formation repose sur les lits faluniens de Rorbas. Cette même molasse a fourni le *Podogonium Knorii*, déjà décrit, et le *Populus latior*, avec d'autres plantes caractéristiques d'Œningen.

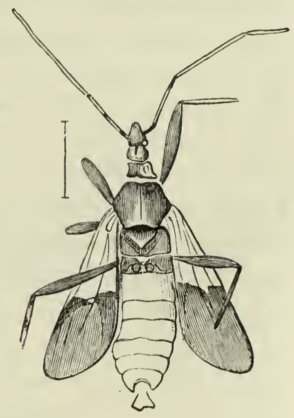


FIG. 192. — *Glyptostrobus europæus*. Branche avec fruit mûr. Heer, pl. 20, fig. 1, *a*. — Miocène supérieur, OEningen.

Avant l'apparition de l'ouvrage de Heer sur la Flore Miocène de Suisse, Unger et Göppert avaient déjà signalé la proportion considérable de genres vivants de l'Amérique du Nord qui distinguaient la végétation de la période Miocène dans le centre de l'Europe. Suivant Heer, après ces formes Américaines, celles qui prédominent à Œningen sont les genres d'Europe, les genres Asiatiques viennent au troisième rang, les Africains au quatrième et les Australiens au cinquième. Les formes Américaines y sont plus nombreuses que dans la période Pliocène d'Italie, et l'ensemble de la végétation indique un climat plus chaud, mais non pourtant une température aussi élevée que celle de la période plus ancienne ou Miocène Inférieur.

Les conclusions tirées de l'examen des insectes sont, pour la majeure partie, en harmonie parfaite avec celles que fournit l'observation des plantes, mais les insectes, comprenant un plus grand nombre de types de l'Europe méridio-

nale, leur ensemble présente un aspect un peu moins tropical et moins Américain. En somme, la faune des insectes est plus riche que celle qui existe actuellement dans n'importe quelle partie de l'Europe. Le Professeur Heer a reconnu comme appartenant aux seules couches d'Œningen jusqu'à 844 espèces, sur les 5080 spécimens qu'il a examinés. La liste entière des espèces Suisses du Miocène Supérieur et de l'Inférieur forme un total de 1322. Presque toutes les familles de coléoptères vivants sont représentées, et l'on aurait pu dire par anticipation, d'après la prédominance des plantes ligneuses et arborescentes, que les coléoptères rongeurs de bois forment la partie la plus considérable des insectes de cette formation, que les Buprestides et autres coléoptères aux longues antennes y sont particulièrement abondants. On y a recueilli également jusqu'à trente espèces de ces coléoptères dont les larves se développent dans la fiente des mammifères, ce qui entraîne, dit Heer, au temps du lac d'Œningen, l'existence d'un plus grand nombre de ruminants, au lieu d'un seul qui nous est connu de cette formation, le *Palæomeryx eminens* de Meyer. On y voit aussi des espèces du *Silpha* à charognes, et vingt-quatre espèces de coléoptères aquatiques des genres *Dytiscus*, *Hydrophilus*, etc.


FIG. 193. — *Harpactor maculipes* Heer. Miocène Supérieur, OEningen.

Les *coléoptères* et les hémiptères d'Œningen ont conservé leurs formes et des restes de coloration; comme on peut en voir un exemple dans la figure 193, qui représente un *Harpactor*, trouvé avec ses antennes, un œil, les pattes et les ailes. En vérité, les caractères de la plupart des insectes sont si bien définis que l'on est porté à croire que cette classe d'invertébrés, si elle n'était pas si rare, serait, en géologie, d'un plus grand secours que les plantes et même les coquilles,

pour la détermination des questions chronologiques (1).

On y trouve peu de genres d'insectes qui soient éteints, mais la plupart d'entre eux impliquent une distribution géographique bien différente de celle qui règne aujourd'hui dans la même partie du monde. Ainsi, par exemple, cette faune Suisse, que nous venons d'étudier, renfermait en nombre, avec des fourmis blanches ou Termites, des libellules d'un type appelé Agrion, de l'Afrique méridionale, ainsi que plusieurs formes de l'Inde et de l'Amérique, se rapportant à des ordres divers.

Le Professeur Heer, pour expliquer l'état parfait de conservation des spécimens, suppose que les insectes, tombés au fond de l'eau, auraient péri par les gaz méphitiques se dégageant du lac, et résultant des éruptions volcaniques dont on voit des produits à Hochgau, éruptions qui, d'après les géologues Suisses, auraient eu lieu pendant la période du Miocène Supérieur.

Molasse moyenne ou marine (*Miocène Supérieur*) **de Suisse.** — On a précédemment établi que la formation Miocène de Suisse se composait de : 1° la molasse supérieure d'eau douce, y compris les marnes lacustres d'Œningen; 2° la molasse marine, correspondant pour l'âge aux faluns de Touraine; et 3° la molasse inférieure d'eau douce. Certaines couches de la série moyenne ou marine atteignent une hauteur de 450 mètres au-dessus du niveau de la mer, et leurs coquilles sont pour la plupart communes aux faluns de Touraine, au bassin de Vienne et à d'autres localités du Miocène Supérieur. Les plantes terrestres jouent un rôle secondaire dans ces lits fossilifères, bien que le Professeur Heer en ait compté plus de quatre-vingt-dix espèces dans cette division falunienne. Ces plantes sont, pour la moitié, communes aux couches sous-jacentes du Miocène Inférieur, tandis qu'elles sont communes à la flore sus-jacente d'Œningen

(1) Voir les magnifiques figures de Heer et les descriptions des coléoptères des couches d'Œningen, etc., dans les *Transactions de Harlem. Naturkundige Verhandelingen van der Hollandsche Maatschappij der Wetensch*, etc. *Haarlem*, 1862.

dans une proportion de 45 pour 100. Sur les quatre-vingt-douze espèces, vingt-six sont propres aux couches en question.

Molasse Inférieure (*Miocène Inférieur*) **de Suisse.** — Immédiatement après la formation précédente vient, dans un ordre descendant, la Molasse Inférieure, presque entièrement d'origine d'eau douce, et dont la division Supérieure contient deux cent onze espèces de plantes, et la division Inférieure jusqu'à trois cent trente-six espèces. La première de ces deux divisions est appelée la *Mayencienne*, dans l'ouvrage de Heer, parce qu'on la suppose du même âge que les couches du bassin de Mayence déjà décrit ; la division supérieure a reçu le nom d'*Aquitanienne*, comme correspondant à des lits du vieux Miocène du midi de la France. Mais les coquilles fossiles qui ont servi à établir ces comparaisons me paraissent jusqu'à ce jour trop peu nombreuses pour qu'on puisse avoir une confiance absolue dans ces identifications. Quant à la superposition de la Molasse appelée *Mayencienne* aux couches inférieures désignées sous le nom d'*Aquitaniennes*, superposition que l'on a pu très-bien observer dernièrement sur les bords du lac de Genève, elle me paraît parfaitement établie.

Au groupe supérieur appartiennent les marnes sablon-



FIG. 194. — *Liriodendron Procaccinii*, Unger. Heer, pl. 198, fig. 6. — Eriz, Miocène Inférieur.

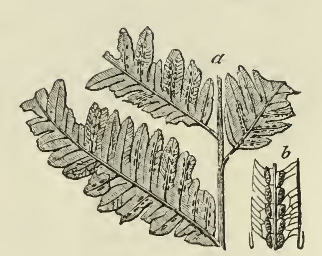


FIG. 195. — *Woodwardia Rössneriana*, Unger. Heer, pl. 5. — Eriz, Miocène Inférieur.
a. Partie d'une branche.
b. Partie d'une feuille agrandie, montrant la position des sores.

neuses d'Eriz, dans le canton de Berne, dans lesquelles on a recueilli soixante-huit espèces de plantes, communes, pour la

moitié, aux couches d'Œningen. Parmi les formes de l'Amérique du Nord, on peut signaler dans cette localité le tulipier, espèce très-étroitement alliée au *Liriodendron tulipifera*.

Parmi les plantes les plus abondantes de cette formation, on remarque deux espèces de cinnamon, dont une a été déjà signalée comme fréquente à Œningen, le *C. polymorphum* (fig. 188) ; viennent ensuite, quant au nombre, les espèces du Cornouiller, ou *Cornus*, du Charme, *Carpinus*, et du Nerprun, *Rhamnus*. De la tribu des conifères, on peut citer un Taxodium allié au cyprès à organes décidus, T. *distichum* de l'Amérique du Nord. Le Professeur Göppert considère ces deux plantes comme identiques, mais Unger et Heer ont constaté des différences, montrant qu'elles forment au moins deux variétés marquées. Parmi les bruyères, on a trouvé une Woodwardia (fig. 195), si semblable à l'espèce vivante *W. radicans*, que, malgré la grandeur de la feuille et quelques légères différences dans sa forme (forme si variable dans les bruyères), le Professeur Heer se demande, avec quelques

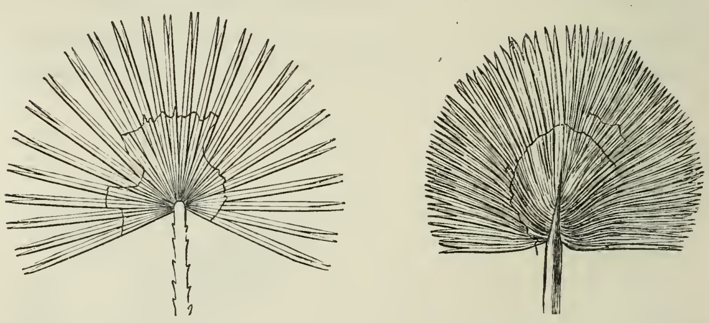


FIG. 196. — *Chamærops Helvetica*, Heer. Utznach, Saint-Gall, Miocène Inférieur (Heer, *Flora Foss. Helvetica*, pl. 41).

FIG. 197. — *Sabal major*. Unger, sp. Vevay, Miocène Inférieur (Heer, pl. 41). Genre actuellement propre à l'Amérique.

botanistes, si la plante fossile ne concorde pas spécifiquement avec la plante récente. Il faut ajouter que cette bruyère se trouve encore dans des couches inférieures, à Monod, par exemple, localité dont je vais bientôt m'occuper.

Avant de quitter les plantes de cette division inférieure

de la Molasse, je ferai observer qu'on a rencontré un palmier éventail, *Chamærops Helvetica* (fig. 196), à Utznach, canton de Saint-Gall, dans des couches du Miocène Inférieur un peu plus élevées dans la série que celles d'Ériz. Ce genre se trouve aujourd'hui dans le sud de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique.

La localité où l'on peut le mieux examiner la sous-division de la Molasse Inférieure, appelée Aquitanienne dans l'ouvrage de Heer, est située sur la côte septentrionale du lac de Genève. Les couches, consistant en grès et conglomérats, ont une épaisseur de plus de 609 mètres. L'épaisseur des conglomérats est très-souvent inégale, dans des districts très-rapprochés, comme on pouvait s'y attendre, attendu que, dans la formation littorale, les couches de galets ont dû s'accumuler et former un exhaussement sur certains points voisins de l'embouchure des rivières, et se réduire, au contraire, à des dimensions comparativement modiques dans les endroits dépourvus de cours d'eau ou traversés seulement par de petites sources qui descendaient vers la côte. Ces vieux lits à galets atteignent, dans le Rigi et dans la montagne de Speer, près de Lucerne, une épaisseur de 1500 à 2000 mètres.

Cette Molasse Inférieure est presque entièrement d'eau douce; quelques-uns de ses lits inférieurs, cependant, contiennent un mélange de coquilles marines et fluviatiles, telles que le *Cerithium margaritaceum*, fossile bien connu du Miocène Inférieur, qui fait partie de ces espèces marines. Malgré l'élévation de ces couches du Miocène Inférieur qui atteint 1800 et 2000 mètres au-dessus de la mer, c'est près de son niveau ou au-dessous, que le dépôt de toute la série a dû prendre naissance et se former, pendant des siècles. Nonobstant l'affaissement graduel de la côte et du fond de la mer adjacente, les rivières continuèrent de couvrir de leurs deltas la plaine enfoncée, mais, finalement, par suite d'un abaissement excessif, la mer de la Molasse Moyenne envahit la terre, et des couches marines se précipitèrent sur la masse épaisse du dépôt d'eau douce et saumâtre, ou Molasse Inférieure, qui s'était accumulée antérieurement.

Il faut bien admettre ce grand changement de niveau, si l'on veut se rendre compte d'un phénomène qui a si fort embarrassé les géologues, c'est-à-dire de la fréquence des galets de gneiss, granite et porphyre dans ces conglomérats ou *Nagelflue*, comme les appellent les Suisses, alors que ces roches n'entrent nullement aujourd'hui dans la structure des Alpes. Lorsque les lits à galet du Miocène Inférieur étaient en voie de formation sur la ligne des côtes, il a pu exister des collines de granite et de gneiss de plus de 300 mètres de hauteur ; mais, l'abaissement se continuant pendant une longue série d'années, ces collines auront été graduellement submergées et recouvertes d'un sédiment fluviatile ; et comme la dépression générale s'opérait plus rapidement que l'accumulation du sédiment, il a dû s'ensuivre un retrait de la plage vers l'intérieur, et une occupation successive par la mer de l'ancienne bordure de côtes. Dans la période actuelle, on voit à la base occidentale des Alpes, en Italie, des collines de gneiss et de porphyre moyennement élevées, bien que les roches de cette classe ne forment actuellement aucune partie de la chaîne elle-même, et il est évident que ces formations cristallines auraient été submergées et ensevelies sous les deltas provenant des détritus des Alpes supérieures, si le niveau de toute la région avait dû baisser par suite d'un autre grand mouvement de dépression.

Comme je l'ai déjà dit, le lieu le plus favorable pour étudier la portion inférieure du Miocène Inférieur de Suisse est situé sur les bords septentrionaux du lac de Genève, entre Lausanne et Vevay, où se trouvent côte à côte les deux villages de Monod et de Rivaz. Dans cette localité, les couches que j'ai examinées sur les lieux se composent de grès congloméré et de marnes aux lames minces alternant avec des plantes fossiles. Un petit cours d'eau tombe en cascades successives sur les lits plus durs de poudingue qui résistent à cette chute, tandis que le grès, les schistes avec leurs plantes et les marnes sont emportés. Dans ces dernières couches, MM. Heer et Gaudin ont obtenu jusqu'à 193 espèces de plantes, et leurs

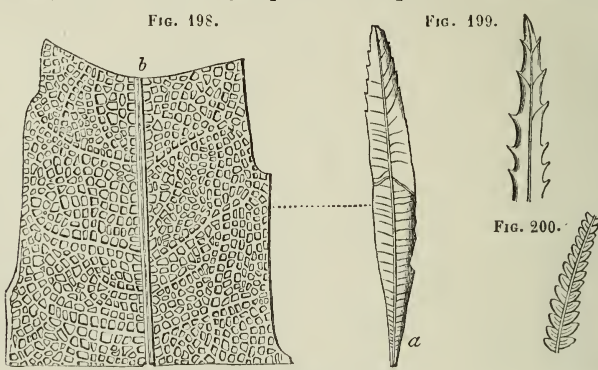
découvertes ont servi à déterminer le vrai type de la végétation dans la sous-division inférieure de la formation Miocène Inférieure de Suisse. Cette végétation qui, par ses caractères, s'éloigne beaucoup plus de la végétation actuelle d'Europe que de celle qui distingue les membres plus élevés de la série précédemment étudiée, présente cependant une si grande affinité avec la flore d'Œningen que les botanistes sont naturellement portés à en rapporter l'ensemble à une seule et même période Miocène. En effet, on n'y compte rien de moins que 81 espèces de ces plantes du Miocène plus ancien qui ont pénétré dans la Flore supérieure d'Œningen, et, sur ce nombre, dit Heer, il en est plusieurs, qui, vu l'abondance des individus et leur caractère arborescent, doivent avoir constitué la nature principale des forêts de cette époque.

A Monod, presque toutes les plantes sont renfermées dans trois couches de marne séparées par deux couches de grès tendre. L'épaisseur de ces marnes est de 3 mètres, et la matière végétale domine dans certaines couches au point de former un lignite imparfait. L'un de ces lits est rempli de grandes feuilles d'une espèce de figuier (*Ficus populina*), et de charme (*Carpinus grandis*), poussées probablement dans le lac par la force d'un vent très-violent, tandis que d'autres couches contiguës contiennent presque exclusivement de petites feuilles, ce qui paraîtrait indiquer une diminution dans l'impétuosité du vent, pendant la formation de ce dépôt. Quelques lits supérieurs de Monod abondent en feuilles de Protéacées, de Cypéracées et de bruyères, tandis que, dans les lits inférieurs, les *Sequoia*, *Cinnamomum* et *Sparganium* sont communs. On a trouvé dans une couche de grès le tronc d'un palmier accompagné d'autres fossiles, et près de Vevay, dans la même série du groupe Miocène Inférieur, les feuilles d'un palmier du genre *Sabal* (fig. 197, p. 412).

Parmi les autres genres de la même classe, on remarque une *Flabellaria*, recueillie près de Lausanne, et un magnifique *Phœnicites* de la même famille que le dattier. A l'époque où ces plantes fleurissaient, le climat devait être beaucoup plus

chaud que maintenant, les Alpes étaient sans doute moins élevées, et les palmiers que l'on trouve aujourd'hui à l'état fossile dans des couches situées à une hauteur de 600 mètres au-dessus de la mer poussaient presque à son niveau; c'est ce que démontre le caractère d'eau saumâtre de la plupart des lits dans lesquels ces arbres ont été transportés des côtes voisines, par les vents ou par les rivières.

Dans les mêmes dépôts fossilifères de la Molasse Inférieure de Suisse, on a trouvé jusqu'à 20 espèces de Protéacées,



Protéacées du Miocène Inférieur.

FIG. 198. — *a.* Feuille de *Dryandroïdes Hakeæfolia*, Miocène Inférieur; un tiers de grandeur naturelle. Monod, près de Lausanne (Heer, pl. 98, fig. 6).
b. Petite portion de la même feuille agrandie (Heer, pl. 98, fig. 15).

FIG. 199. — *Hakea exulata*, Hohen-Rhonen (Suisse). Miocène Inférieur; grandeur naturelle (Heer, pl. 98, fig. 19).

FIG. 200. — *Dryandra Schrankii*, Monod, Miocène Inférieur; demi-grandeur naturelle (Heer, pl. 98, fig. 20 *b*).

ordre déjà signalé, comme étant parfaitement représenté dans les couches d'Œningen, quoiqu'il y soit moins abondant que dans les dépôts du Miocène Inférieur en question, qu'il domine d'une façon encore plus frappante dans l'Éocène antérieur, et bien plus encore dans les anciennes formations Crétacées.

L'une des plantes ci-dessus, le *Dryandra Schrankii*, se rapproche beaucoup du *D. Formosa*, R. Brown, espèce vivante de la Nouvelle-Hollande, et est considérée par Heer, comme son *homologue*, mais on ne connaît que la feuille seule de la plante fossile; cette espèce caractérise tous les degrés du

Miocène Inférieur, et ne se trouve pas dans le Supérieur. On rencontre également cette espèce dans les couches Miocènes de l'île de Mull, dans les Hébrides, Grande-Bretagne, et dans le lignite de Bovey Tracey, Devonshire.

Les Protées et autres plantes de cette famille existent actuellement au Cap de Bonne-Espérance, tandis que les Banksias, et un groupe de genres distincts de ceux d'Afrique, croissent plus vigoureusement dans les parties méridionales et tempérées de l'Australie. Ces plantes, d'après Heer, vivaient probablement sur un sol montagneux et sec, et la nature de leurs feuilles rigides et tenant du cuir doit avoir favorisé leur conservation, en leur permettant de flotter sur l'eau d'une rivière pendant de longs trajets sans altérations et de tomber ensuite au fond, lorsqu'elles étaient imprégnées de liquide. Quelques botanistes ont bien objecté que le fruit des Protéacées, en raison de sa texture si dure et si résistante, aurait dû fournir des spécimens plus fréquents au lieu d'un seul qui soit connu, le *Hakea saligna* ci-dessus mentionné (fig. 191, p. 407); on pourrait leur répondre que l'époque de la fructification de ces plantes peut très-bien n'avoir pas coïncidé avec celle où le dépôt sédimentaire s'effectuait avec le plus d'activité, et bien d'autres raisons encore que nous ignorons pour le moment, et qui seraient propres à expliquer cette absence du fruit. On a commis certainement des erreurs, et le Comte Saporta a démontré qu'une plante autrefois rangée dans la classe des Dryandroïdes, et dont il a découvert le fruit, appartient réellement à la tribu des myrtes de marais ou tribu des Galés (*Myrica*); mais il n'existe point de motifs pour révoquer en doute la détermination généralement exacte des Protéacées fossiles; on a bien contesté autrefois la présence de cette famille dans les marnes crétacées d'Aix-la-Chapelle, mais dans ce cas heureusement, les feuilles, nonobstant leur antiquité, étaient beaucoup mieux conservées qu'aucune des plantes Miocènes connues, et leur épiderme a pu être examiné au microscope. Une feuille provenant d'Aix, qui avait été rapportée, pour sa

forme et sa nervure, au genre *Grevillea*, a été reconnue, après avoir été soumise à l'épreuve microscopique, posséder des cellules régulières et polygonales, de forme et d'épaisseur semblables à celles des *G. oleoides* vivants d'Australie.

Les huit ou neuf espèces de figuiers (*Ficus*) que l'on a trouvées à Monod et à Rivaz, ont leurs analogues vivants dans les régions plus chaudes de l'Inde, de l'Afrique et de l'Amérique. Parmi les conifères la *Sequoia*, représentée ici, se



Fig. 201. — *Sequoia Langsdorfii*, A. Brongniart; un tiers de grandeur naturelle. Rivaz, près de Lausanne (Heer, pl. 21, fig. 4). Miocènes Supérieur et Inférieur, et Pliocène Inférieur, Val d'Arno.
b. Jeune cône.

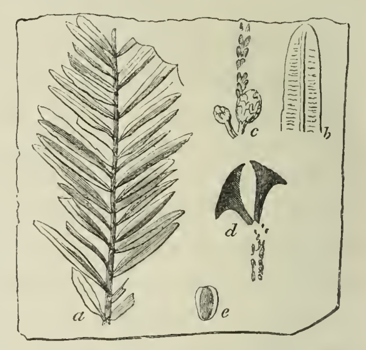


Fig. 202. — *Sequoia Langsdorfii*, Fossile, fleuve Mackensie. Lat. 65° N. Sir G. Richardson, *Voyage*, 1851, vol. I, p. 186; vol. II, p. 403.
a. Branche avec feuilles, pousse d'un an.
b. Dessous d'une feuille agrandie, montrant des ponctuations comme dans le *S. sempervirens* actuel.
c. Fleurs mâles.
d. Carpelles du cône.
e. Graine.

trouve communément à Rivaz, et, tout en étant une des plantes les plus généralement répandues dans le Miocène Inférieur de Suisse, caractérise aussi le Brown Coal Miocène d'Allemagne et certains lits de la vallée de l'Arno, que j'ai rangés dans le Vieux Pliocène, p. 316.

J'ajouterai comme fait intéressant que cet arbre (*Sequoia*) aurait été découvert également dans le *surturbrand* ou lignite d'Islande, et dans l'île Disco, dans le Groënland, par le Docteur Walker, à 70e latitude nord. Cette plante se rapproche tellement de la *S. sempervirens* actuelle (*Taxodium*), de

Californie, que certains botanistes doutent fort qu'elles ne soient l'une et l'autre des variétés de la même espèce. Comme plante fossile, sa distribution géographique s'étend du Groënland, latitude 70° nord, à Sinigaglia, en Italie, et dans la direction est et ouest, des Hébrides (île de Mull) à la Steppe des Kirghis.

Sir John Richardson a rencontré ce même arbre fossile sur les rives du Mackensie, à 3 kilomètres nord de la jonction de ce fleuve avec le Bear River, à la latitude de 65° nord, dans les mêmes parallèles à peu près qui comprennent le nord de l'Islande.

Je suis redevable au Professeur Heer de la figure suivante qui représente ce spécimen Américain, reproduit d'après l'original.

Parmi les bruyères trouvées à profusion à Monod, on doit citer la *Lastræa stiriaca*, Unger, qui occupe une large place dans la période Miocène, à partir des couches de l'âge d'Œningen jusqu'aux lits les plus inférieurs de la molasse Suisse.

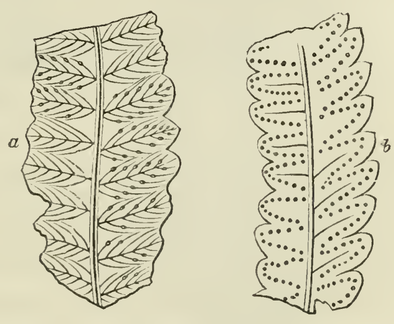


FIG. 203. — *Lastræa stiriaca*, Unger. (Heer, *Flore*, pl. 143, fig. 8) ; grandeur naturelle ; Miocènes Supérieur et Inférieur (Suisse).
a. Spécimen de Monod, montrant la position des sores sur le milieu des nervures tertiaires.
b. Apparence plus ordinaire; les sores sont visibles et les nervures sont supprimées.

Dans quelques spécimens, comme le montre la figure, la fructification est parfaitement visible.

Dans la flore du Miocène Supérieur d'Œningen déjà décrite, le nombre des arbres forestiers et des arbustes à feuilles persistantes est très-considérable; leur prédominance, néanmoins, est encore plus marquée dans la période du Miocène Inférieur, et caractérise les régions sous-tropicales. Les plantes ligneuses sont pour les deux tiers au moins à feuilles persistantes.

Parmi les autres caractères qui font ressembler cette flore à celle de l'Amérique du Nord, on doit signaler la grande abondance d'arbres de l'ordre des Amentacées, tels que le chêne, le peuplier, l'aune, le saule, le charme, le platane, etc.

Les plantes papilionacées, dont on compte vingt-quatre genres, sont, de toutes les familles, celles qui sont le plus largement représentées, tant dans le Miocène Supérieur que dans l'Inférieur; les lauriers, dont on ne connaît que cinq genres, ont fourni la plus grande quantité de feuilles aux couches Miocènes, et parmi ces espèces de *Cinnamomum*, il en est plusieurs de fort remarquables.

Outre le *C. polymorphum* représenté p. 406, on en rencontre une autre espèce dans la série des couches à partir de la Molasse Inférieure jusqu'à la Molasse Supérieure de Suisse, elle est très-caractéristique des divers dépôts du Brown Coal en Allemagne et a été nommée, par Heer, *Cinnamomum Rossmässleri* (voir fig. 204).

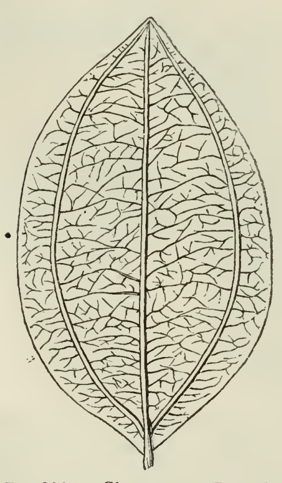


Fig. 204. — *Cinnamomum Rossmässleri*, Heer; *Daphnogene Cinnamomifolia*, Unger; Miocènes Supérieur et Inférieur (Suisse et Allemagne).

Cette plante est alliée de près à une espèce vivante de l'Inde septentrionale, le *C. eucalyptoides;* ses feuilles, comme nous l'avons remarqué, sont faciles à reconnaître, à cause de deux nervures qui concourent sans interruption à se réunir aux mêmes points.

Le grès de Ralligen, sur le lac de Thun, couche la plus inférieure du Miocène Suisse, dans lequel on a recueilli trente-deux plantes, renferme jusqu'à six espèces communes à Œningen, ce qui fait une proportion de 18 pour cent. Dans ce nombre, on trouve le *Taxodium,* étroitement allié au cyprès à organes décidus du Mississipi, un pin, un roseau, et

un représentant de l'ordre des protéacées, le *Dryandroides lignitum*.

DISCORDANCE SUPPOSÉE DANS LE DEGRÉ D'AFFINITÉ DES PLANTES ET DES COQUILLES DU MIOCÈNE SUPÉRIEUR AVEC LES ESPÈCES DE LA CRÉATION VIVANTE.

Avant de terminer mes observations sur la *Flore* et la *Faune* fossiles de Suisse, je dirai quelques mots de l'embarras qu'ont éprouvé certains géologues en présence de l'anomalie que paraissaient offrir les résultats fournis par l'étude des coquilles fossiles, comparées aux plantes fossiles et aux insectes. Des conchyliologistes de mérite ont déclaré que sur le nombre des coquilles fossiles de la Molasse marine qui est sous-jacente au dépôt d'eau douce d'Œningen, le quart et même plus d'un quart des espèces était encore vivant, tandis qu'on avait avancé que toutes les plantes et tous les insectes de cette formation différaient des espèces actuelles. En examinant les preuves d'un œil plus attentif, nous parviendrons peut-être à dissiper ces apparences de contradiction.

Le Professeur Heer, à la vérité, n'a identifié aucune des plantes du Miocène avec des espèces vivantes, mais il a énuméré soixante-douze espèces qu'il a qualifiées d'*homologues*, sur lesquelles, quarante sont connues par leurs fruits aussi bien que par leurs feuilles ; et, bien qu'opposé à la doctrine de transmutation, il a admis que ces espèces homologues sont étroitement alliées aux formes les plus voisines des espèces vivantes, et que celles-ci pourraient bien en descendre directement. Il ne saurait, dit-il, « se prononcer sur la question de savoir, si les variations ont été le résultat de quelque influence qui s'est continuée pendant des siècles, ou si, à un moment donné, les types anciens ont revêtu des formes nouvelles. »

On ne saurait douter que la plupart des naturalistes n'acceptassent de prime abord le degré de parenté en question

comme suffisant pour établir l'identité spécifique : supposons que la variété sessile du chêne commun, *Quercus robur*, ne soit parvenue à notre connaissance que comme fossile d'Œningen et non comme forme actuelle, et que l'autre variété vivante, dont la fleur et le gland sont munis d'un pédoncule, soit la seule forme qui existe de nos jours. Le premier de ces arbres, suivant la méthode adoptée dans l'ouvrage du Professeur Heer, devra être rangé dans les espèces éteintes du Miocène, alors que les deux formes qui existent simultanément aujourd'hui dans les forêts d'Europe sont généralement regardées par les botanistes comme de pures variétés. Qu'une pareille distinction rentre dans la méthode de Heer, nous sommes en droit de le supposer, d'après le système qu'il a suivi dans l'étude des spécimens fossiles d'une plante qu'il a appelée *Planera Ungeri*. Unger avait d'abord désigné sous le nom de *P. Richardi*, cet arbre allié à l'orme par les feuilles et le fruit, parce qu'il l'identifiait avec celui qui vit actuellement en Crète et dans le Caucase ; mais Heer fit remarquer que dans la plante fossile le fruit avait de plus grandes



Fig. 205. — *Planera Richardi*, Unger ; *P. Ungeri*, Heer. Miocène Supérieur (Heer, pl. 80, *Flora tert. Helvetiæ*).
a. Branche provenant d'OEningen. — *b.* Fruit agrandi. — *c.* Feuille, OEningen.

dimensions, et la dénomination fut changée. Lorsqu'en 1861, je visitai avec le Professeur Suisse le riche herbier de Kew, le Docteur Hooker nous montra une variété vivante du *Pl.*

Richardi, dans laquelle le fruit était absolument aussi gros que dans la variété d'Œningen, preuve que cette dernière peut conserver le nom que lui avait donné Unger. Cet exemple, au défaut d'un autre, suffirait pour nous avertir que, dans l'état imparfait de nos connaissances actuelles, il ne faut pas se laisser aller à croire trop aveuglément que toutes les espèces Miocènes soient aujourd'hui des espèces éteintes.

Sur les soixante-douze espèces homologues ci-dessus mentionnées, il y en a soixante-sept de phénogames et seulement cinq de cryptogames, mais on est en droit de se demander si parmi les quarante-neuf cryptogames du Miocène, décrites dans la Flora Tertiaria de Heer, un plus grand nombre, peut-être plus de la moitié, n'aurait pas pu recevoir avec raison (provisoirement au moins) les noms de plantes vivantes. Heer admet que, pour la majeure partie, ces plantes sont très-voisines des espèces vivantes, et nous savons parfaitement combien est étendue la distribution géographique des bruyères, et combien plus vaste encore est celle des plantes sans fleurs des degrés inférieurs, tels que mousses, lichens, champignons, dont plusieurs espèces sont cosmopolites, et par conséquent aptes, de leur nature, à supporter les conditions les plus variables pendant une longue durée de temps.

On voit fréquemment sur les feuilles d'un érable fossile déjà cité (fig. 183, p. 404), un petit corps ressemblant au champignon (*fungus*) qui croît sur les érables vivants de nos jours, et qui a été appelé par Fries *Rhytisma acerinum*. Il est tuberculeux et crénulé, comme on peut le voir dans la figure *b*, qui le représente agrandi. Le fossile a produit une si forte cavité dans la marne enveloppante, que le professeur Heer en a conclu qu'il était un peu plus épais que la forme vivante. En conséquence, au lieu de considérer ce champignon fossile comme une variété, il lui a donné le nom de *R. induratum*, et c'est sous ce titre que la plante vient grossir la liste des espèces éteintes du Miocène.

Je citerai comme exemple identique un champignon très-

petit, le *Sphæria ceuthocarpoides* de Heer, qui tache les feuilles du *Populus ovalis* d'Œningen, et ressemble beaucoup au *Sphæria ceuthocarpa* de Fries. Les botanistes croiraient agir à la légère en assignant à ces objets même la dénomination de genre, et, d'une façon encore plus inconsidérée, en décidant que le fossile diffère spécifiquement de la plante vivante, son analogue.



Fig. 206. — *a.* Portion d'une feuille de *Acer trilobatum* avec de nombreux spécimens du champignon appelé *Rhytisma induratum,* Heer. — *b.* Vue du champignon agrandi (Heer, pl. 112, fig. 7). Miocène Supérieur, OEningen.

On a également prouvé que les taches noires formées par un autre de ces corps sur les feuilles d'un peuplier, étaient le résultat d'une substance réelle, et non simplement l'effet de la décoloration, car le champignon a laissé des dentelures imprimées sur la face inférieure et sur la face supérieure des couches de marne qui le comprenaient. Il faudrait avoir de plus amples renseignements, pour affirmer que ce n'est pas là une espèce vivante. Certains botanistes doutent même qu'on n'en puisse dire tout autant du *Populus latior* lui-même d'Œningen, sur lequel croît le fungus en question, et dont Heer a décrit sept variétés, parmi lesquelles il en est de très-voisines de celles du *Populus monilifera* de l'Amérique du Nord.

On pourrait faire de semblables commentaires sur la longue liste d'insectes homologues donnée par Heer, des couches Miocènes de Suisse ; les caractères qui les distinguent spécifiquement de leurs plus proches représentants actuellement existants pourrait apparaître au zoologiste sous un jour différent, suivant la disposition d'esprit dans laquelle il se trouverait en abordant cette étude. Si, par exemple, étant sous l'impression de cette idée que tous les mammifères du

Miocène Supérieur et une grande partie de ses testacés sont éteints, il avait à se prononcer sur la question de savoir si un fossile et une forme récente, présentant une intime ressemblance, doivent être considérés comme variétés ou comme espèces distinctes, il devrait, comme parti le plus sage, adopter la dernière des deux alternatives. Pourtant, en donnant, dans des cas douteux, un nom nouveau au fossile, le naturaliste encourt une grave responsabilité, car il se condamne à nier absolument toute identification spécifique de ces fossiles du Miocène avec les plantes et les insectes vivants. Il est bien, sans doute, d'apporter une prudence extrême dans l'identification, mais il est également important de ne pas séparer des individus qui, selon toutes probabilités, appartiennent à la même espèce. Malgré l'excellence et la précision générale des conclusions auxquelles est arrivé le Professeur Heer, après des travaux si considérables et si consciencieux, l'un de ses résultats me paraît entaché d'une contradiction qui pourrait bien résulter de son éloignement à identifier les plantes du Miocène Supérieur avec les plantes vivantes. Quand on consulte son catalogue des plantes fossiles de la Suisse, on s'aperçoit qu'un grand nombre d'espèces passent de la Flore Aquitanienne à celle d'Œningen, flores aussi éloignées, pour l'âge, l'une de l'autre, que les sables de Fontainebleau le sont des Faluns de la Loire. Cependant il est difficile d'admettre qu'une plante ait survécu pendant l'intervalle de temps plus court qui sépare la flore d'Œningen de celle de notre époque ; je dis intervalle plus court, parce que, ainsi qu'on l'a vu, p. 348, toutes les coquilles des sables de Fontainebleau diffèrent de celles des Faluns, tandis qu'un cinquième, et dans certains cas un tiers des coquilles des dépôts Faluniens sont encore vivantes. Or, si les caractères différentiels des plantes ont été étudiés sur la même échelle, et sans aucune prévention, s'il est avéré que plusieurs d'entre elles passent d'un degré inférieur à l'un des degrés supérieurs du groupe Miocène, il me paraît rationnel de reconnaître qu'un plus grand nombre encore de

ces espèces, commun à la période du Miocène Supérieur, l'est aussi à la création vivante.

Théorie d'une Atlantide Miocène. — Les plantes Suisses de la période Miocène ont été obtenues dans une région dont la surface n'excède pas le cinquième de l'étendue de la Suisse, et pourtant l'abondance des espèces dans certains genres et dans certaines familles favorisées pour leur conservation à l'état fossile est si grande, qu'elle suffit pour démontrer que la flore Miocène est plus riche que la flore moderne, toute riche et variée que nous connaissions cette dernière. Les recherches déjà faites établissent, suivant Heer, que la seule classe des phénogames doit avoir compris 3,000 espèces Miocènes; et, après avoir opéré de légitimes réductions dans le nombre de celles qui sont limitées à certains membres subordonnés du groupe Miocène, et qui n'ont pu exister toutes à la fois, il arrive à cette conclusion, que dans aucune partie du midi de l'Europe, en Lombardie ou en Sicile, par exemple, il n'existe actuellement, sur une surface égale, une végétation aussi luxuriante et aussi variée. Pour la variété, elle surpasse la flore des États du sud de l'Amérique, tels que la Géorgie et les Carolines, et rivalise avec celle des régions tropicales, telles que la Jamaïque et Bahia.

Les formes fossiles sont alliées, en majeure partie, aux espèces ou aux genres vivants, mais on observe certains types éteints, spécifiques et génériques, qui occupent une large place dans le tiers des couches successives, en remontant de la Molasse inférieure aux lits d'Œningen ; toutefois, malgré le contraste qui se fait remarquer entre les plantes des formations supérieures et celles des formations inférieures, les caractères de cette flore Miocène sont marqués d'un certain cachet d'unité. Les preuves d'un climat plus chaud, la prépondérance des arbres et des arbustes sur les plantes herbacées, la quantité des espèces à feuilles persistantes bien supérieure à celle des espèces à feuilles caduques, sont les caractères de la flore en général, caractères qui prennent de

l'intensité à mesure que l'on descend dans les dépôts inférieurs. D'un autre côté, le nombre relatif des formes Américaines, bien que toujours considérable, va un peu en diminuant dans les lits les plus inférieurs. Les types vivants d'Amérique sont les plus nombreux ; viennent ensuite ceux d'Europe ; ceux d'Asie occupent le troisième rang, ceux d'Afrique le quatrième, et ceux de la Nouvelle-Hollande le cinquième. Les régions qui présentent le plus grand nombre d'espèces analogues sont : En Europe, la Zone méditerranéenne ; en Amérique, les États-Unis du Sud, tels que la Louisiane, la Floride, la Géorgie et les Carolines ; en Asie, le Japon et les contrées du Caucase et de l'Asie Mineure ; en Afrique, les petites îles de l'Atlantique, telles que les Canaries et Madère.

En considérant les plantes comme constituant la masse de la végétation, et non pas simplement comme une liste aride d'espèces, on voit que la partie Européenne de la flore fossile descend à un degré encore plus bas de l'échelle, tandis que les degrés supérieurs sont occupés par la flore Américaine avec ses espèces nombreuses de chênes toujours verts, de peupliers, platanes, Liquidambars, Robinia, Sequoia, Taxodium, et pins aux feuilles ternées ; par celle du Japon, avec ses camphriers et ses glyptostrobus ; par celle des îles de l'Atlantique avec leurs lauriers ; et par celle de l'Asie Mineure avec ses planères et son *Populus mutabilis* (1). Durant la période Miocène en Europe, il a régné une coexistence singulière de types génériques de plantes qui sont aujourd'hui particulières à l'Amérique, à l'Asie, à l'Afrique ou à l'Australie, en un mot, à des parties du globe extrêmement distantes les unes des autres. Cette fusion de caractères aujourd'hui disséminés dans des provinces botaniques distinctes devient plus sensible à mesure que l'on remonte vers les formations du Miocène Inférieur, et présente des exemples encore plus frappants dans les périodes anté-

(1) Heer et Gaudin, p. 59.

rieures de l'Éocène et du Crétacé. Dans les formations du Miocène Inférieur du centre de l'Europe, le climat semblerait avoir été non-seulement plus chaud, mais encore plus uniforme et plus humide, et cette humidité aurait favorisé la formation des couches de lignite, analogues à celles qui constituent le Brown Coal d'Allemagne.

La proportion considérable des genres Américains dans la flore Miocène fit penser à Unger, que le bassin actuel de l'Atlantique avait été jadis occupé par une terre ferme, ayant pu servir de libre passage aux plantes Miocènes, et cette hypothèse a été défendue et développée par Heer avec une grande habileté. Au premier coup d'œil, on croit avoir trouvé un précieux argument dans ce fait particulier que c'est la côte Orientale ou Atlantique du Nord de l'Amérique, c'est-à-dire la côte la plus rapprochée de l'Europe, qui présente le plus grand nombre de formes végétales analogues à celles de la flore Miocène. Mais le Docteur Asa Gray, poursuivant une idée lancée par M. Bentham, a vigoureusement soutenu qu'il est bien plus probable que les plantes, au lieu d'être parvenues en Europe en suivant la voie la plus courte à travers une Atlantide imaginaire, ont émigré dans une direction opposée, et ont pris une route quatre fois plus longue à travers l'Amérique et toute l'Asie.

Si dans la division botanique les preuves se balançaient également en faveur des deux théories opposées, le géologue devrait préférer, sans hésiter, celle du Docteur Asa Gray, comme exigeant un ensemble incomparablement moindre de changements dans la géographie physique, depuis la fin de la période Miocène. Il est vrai que depuis le commencement de cette époque, il s'est opéré de grandes modifications dans le niveau des Alpes et des régions contiguës, comme on l'a vu, p. 413, ainsi que dans la Méditerranée et spécialement dans la mer Egée, p. 395 ; peut-être même y a-t-il eu pendant la période Pliocène, comme le prétendait Edward Forbes, une extension vers l'ouest du continent

d'Europe et de l'Afrique septentrionale (1). Si au lieu d'assigner une date presque historique à l'existence sous forme de continent de l'étendue qui sépare l'Afrique des États du sud de l'Amérique septentrionale, réalisation de cette histoire d'Atlantide dont les prêtres Égyptiens parlèrent à Platon, on pouvait jeter un regard rétrospectif sur l'intervalle entier qui nous sépare des périodes Éocène ou Crétacée, nous nous féliciterions franchement, comme géologue, de la découverte de tout changement intervenu dans la position respective de la terre et de la mer. La seule chose qui nous fasse défaut, c'est le temps nécessaire pour le développement graduel d'une longue suite de mouvements souterrains; ce temps admis, et l'exagération disparaît des vers du poëte :

« Les tremblements de terre ont soulevé jusqu'aux cieux l'humble vallée,
« Et les gouffres ont enseveli la masse des montagnes superbes
« Et où roulent les flots de l'Atlantique de vastes continents s'épanouissaient. »

Beattie.

C'est l'étendue et la profondeur énormes de l'Atlantique qui me font reculer devant l'hypothèse de plantes appropriées à un climat sous-tropical dans la période du Miocène Supérieur, émigrant d'Amérique en Europe, par une route directe de l'ouest à l'est. Ne pourrait-on pas échapper à cette difficulté, en adoptant la théorie suivant laquelle les formes de la végétation commune à la récente Amérique et à l'Europe Miocène se seraient étendues d'abord de l'est vers l'ouest à travers le nord de l'Amérique, auraient passé de là au Kamtschatka par le détroit de Behring et les îles Aleutiennes, traversé le continent placé entre les 40 et 60e parallèles de latitude qui comprennent aujourd'hui les îles Kuriles et le Japon, et de ces régions seraient parvenues en Chine, d'où elles auraient suivi leur route à travers l'Asie jusqu'en Europe ?

S'il en a été ainsi, les lacunes dans une série de plantes autrefois continue, la disparition ou la diminution de la plupart des espèces, pourraient bien être attribuées aux

(1) Voir la carte, vol. I, pl. 7. *Memoirs of Geol. Survey*, etc., 1846.

puissantes révolutions auxquelles nous savons que la géographie physique a été soumise dans les diverses parties de cette étendue, pendant les époques postérieures au Miocène.

Le Professeur Oliver, après avoir soigneusement analysé l'ouvrage de Heer, déjà cité, sur *la Flore tertiaire de Suisse*, nous a donné un essai remarquable sur les relations des faits si considérables accumulés dans ce livre avec les deux théories auxquelles nous avons fait allusion (1). Il a pensé d'abord qu'il était plus prudent de mettre de côté tous les cryptogames, et d'exclure un certain nombre de plantes phénogames qui n'avaient été déterminées d'une manière douteuse que par leurs feuilles ; ces déductions faites, il reste, dans la flore Miocène de Suisse, huit cents plantes environ qui se rapportent à cent quatre-vingt-seize genres. On comprend naturellement que la détermination de la plupart de ces plantes ait été pleine d'incertitude, en l'absence du fruit ou de la fleur, mais les preuves positives qui subsistent sont amplement suffisantes pour baser des généralisations, et l'on n'a pas à craindre que ces preuves puissent être fondamentalement ébranlées dans l'avenir par des découvertes nouvelles. Ce procédé rationnel est d'autant plus digne de confiance que, sur un si grand nombre de genres, vingt-six seulement sont éteints, parmi lesquels quinze appartiennent aux monocotylédones et six aux dicotylédones.

On admet généralement qu'il existe une incontestable analogie entre la flore Miocène de l'Europe centrale et la flore récente du nord de l'Amérique, et que cette analogie est plus grande que celle que l'on remarque entre la même flore fossile et celle de nos jours en Europe. Mais le Docteur Asa Gray fait observer que les plantes du Miocène Suisse ressemblent beaucoup plus à celles du Japon, qu'elles ne ressemblent aux plantes vivant actuellement en Europe, ce qui fait penser tout d'abord que les plantes Américaines auraient pris la route de l'ouest au lieu de celle de l'est. On re-

(1) *Nat. Hist. Review*, 1862, p. 149.

marque, en outre, en voyageant de l'Europe vers l'orient, que la végétation actuelle revêt les caractères de la flore Miocène, à mesure que l'on va plus loin dans cette direction. C'est ainsi qu'en passant des régions méditerranéennes dans le Levant, le Caucase et la Perse, on rencontre, dit le Professeur Oliver, les *Chamærops*, *Platanus*, *Liquidambar*, *Pterocarya*, *Juglans*, etc., etc., et qu'en longeant l'Himalaya et traversant la Chine, on trouve d'autres genres Miocènes, la partie orientale du continent asiatique formant avec le Japon une grande région botanique. Dans les États de l'Amérique du Sud quatre-vingt-huit genres du Miocène sont actuellement représentés : au reste, le Professeur Oliver donne un tableau montrant que, si l'on réunit l'Europe, l'Asie et le Japon, comme nous l'avions dit plus haut, il n'y a pas moins de cent vingt genres récents qui sont communs à la flore Miocène de Suisse. Toutefois, il y a certaines divisions générales dans lesquelles la flore actuelle du Japon ressemble beaucoup plus à la végétation du Vieux Miocène qu'à la flore vivante d'Amérique. Ainsi, par exemple, les neuf ordres tertiaires numériquement les plus considérables sont les suivants : 1° Graminées (gazons) ; 2° Composées ; 3° Cypéracées (laîches) ; 4° Salicinées (saules) ; 5° Conifères (pins) ; 6° Légumineuses ; 7° Laurinées (lauriers) ; 8° Acérinées (érables) ; et 9° Protéacées. Les six premiers sont compris dans les neuf ordres les plus importants du Japon, et quatre seulement, savoir, les trois premiers et le sixième, dans les ordres principaux des États méridionaux de l'Amérique du Nord ; il faut ajouter que les trois derniers de ces neuf ordres sont beaucoup plus développés dans le Japon que dans les États du sud de l'Amérique septentrionale.

Heer estime que la proportion des espèces ligneuses surpasse de 60 pour cent le total des plantes comprises dans le Miocène Suisse. Le Professeur Oliver remarque, à ce sujet, que ces mêmes espèces constituent dans le Japon 40 pour cent de la flore entière, et 22 pour cent seulement de celle des États-Unis du Sud ; soixante-dix-sept genres sont communs à la

flore récente du Japon et aux formations du Miocène Européen, et ils se trouvent en nombre à peu près égal dans la flore tertiaire et dans la flore vivante d'Europe. Dans ces deux cas il ne faut pas croire que les genres communs soient les mêmes; car il n'y en a pas moins de vingt-six qui figurent dans la liste Japonaise, et qui font défaut en Europe, par suite de leur extinction dans cette partie du monde depuis la période Miocène. Une proportion assez forte de ces espèces, telles que les *Cinnamomum* et *Glyptostrobus*, occupe une place importante parmi les fossiles.

Pour concevoir la disparition de formes si nombreuses, on n'a qu'à se rappeler les grands changements géographiques déjà signalés, et qui ont eu lieu, comme on le sait, dans l'Europe orientale et dans l'Asie occidentale, depuis la période Miocène. Il semble anormal à première vue que les plantes du côté oriental du nord de l'Amérique puissent concorder plus intimement avec celles du Japon, qu'avec les plantes comprises dans la flore des contrées intermédiaires, telles que l'Orégon, la Californie, et la partie occidentale des montagnes Rocheuses. Cette observation conduit naturellement à supposer que la plupart des genres du Miocène d'Europe, que l'on ne trouve aujourd'hui que sur le côté Atlantique du nord de l'Amérique, se seraient étendues autrefois jusqu'aux contrées baignées par l'océan Pacifique. En faveur de cette hypothèse, on peut mentionner la découverte que fit Lesguereux en 1859, dans l'île de Vancouver et dans l'Orégon, de plusieurs genres Miocènes à l'état fossile qui ne sont plus représentés depuis longtemps dans la flore du versant occidental des montagnes Rocheuses. Parmi ces fossiles on remarque un *Cinnamomum* ressemblant au *C. Rossmässleri*, fig. 204, une planère en arbre analogue à la *Planera Richardi*, un *Glyptostrobus* semblable au *G. Œningensis*, Br., un palmier-éventail, avec des saules et des érables; le tout impliquant un climat plus chaud dans l'Orégon pendant la période Miocène, et dénotant aussi qu'une pareille végétation a couvert dans les

temps anciens la surface entière du continent américain.

A l'appui de sa théorie de l'Atlantide, Heer a fait ressortir que certains genres Américains, tels que l'*Oreodaphne*, étroitement allié à l'*O. fœtens*, ou le Til, les *Clethra*, *Bystropogon*, *Cedronella*, et autres, sont communs au Miocène d'Europe et aux flores de Madère, de Porto-Santo, des Canaries et des Açores ; que le nombre des genres propres à ces îles, spécialement aux Açores, se trouve être considérable, et cet argument de Heer acquiert une grande valeur, car ces îles Atlantiques peuvent alors être considérées comme les derniers débris d'un continent disparu sur lequel une végétation continue s'étendait de l'ouest à l'est; mais le Professeur Olivier observe avec raison que les types botaniques jouissant des rapports géologiques et géographiques que réclame l'hypothèse sont extrêmement rares dans ces îles de l'Atlantique. Ajoutons que deux des genres déjà cités, le *Clethra* et la *Cedronella*, sont d'une valeur minime ou même nulle, attendu que des espèces de ces deux genres croissent aujourd'hui dans le Japon, et que d'autres plantes de cette collection peuvent avoir gagné les îles de l'Atlantique à l'époque où ces îles étaient unies à la Barbarie, où la Barbarie faisait partie de l'Europe, époque pendant laquelle les coquilles terrestres et les plantes d'Europe qui prospèrent actuellement à Madère et à Porto-Santo auraient émigré dans ces régions.

L'existence, durant la période Pliocène, d'une communication terrestre continue entre l'Amérique et l'Europe occidentale au moyen de laquelle la plupart des plantes auraient émigré, antérieurement à la période glaciaire, de la première de ces régions dans l'autre, a été mise en avant par M. Darwin dans son *Origine des espèces* (chap. XI, 1859); et le Docteur Leidy a fait observer qu'une pareille continuité de terre ferme de l'est à l'ouest est une conséquence de l'identité de certains mammifères éteints des formations Pliocènes de la vallée de Niobrara, dans le territoire de Nébraska, avec les mammifères d'un âge géologique correspondant en Europe. La carte idéale de l'Atlantide donnée par Heer représente

un continent aussi étendu que l'Europe, placé précisément dans cette partie de l'océan Atlantique qui est maintenant la plus profonde et la plus large (1); cette profondeur serait au centre de la masse, suivant les derniers sondages, de 3 à 4 kilomètres. Supposer, par conséquent, qu'un continent occupait une position aussi élevée vers la fin de la période Miocène, lorsque les types Américains, comme on l'a vu à Œningen, étaient le plus abondants, implique nécessairement un mouvement prodigieux d'abaissement qui se serait opéré dans une période comparativement très-courte. Durant la vie d'une seule génération d'hommes, les plantes dont les graines ont été transportées par hasard sur des côtes lointaines, auraient donc fait leur chemin dans l'intérieur des terres, à des distances considérables, sans aucune intervention humaine. Qu'un botaniste essaie de calculer approximativement le nombre de siècles nécessaire pour qu'une collection donnée de plantes puisse couvrir une étendue terrestre de plusieurs milliers de kilomètres de l'est à l'ouest, je l'admets si l'on veut; mais un géologue ne se hasardera jamais à estimer les périodes innombrables de temps qu'exigeraient d'abord la conversion de ces milliers de kilomètres de continent en une mer peu profonde, et la transformation consécutive de ce haut-fond en un lit profond de 3 à 4 kilomètres.

Au cas même qu'on supposerait la flore Miocène, prenant naissance dans les États-Unis du Sud, dans la Géorgie et dans les Carolines, par exemple, et les plantes qui la composent, ayant suivi la voie de terre dans la direction de l'est pour gagner l'Europe en franchissant une distance de 26,000 kilomètres, on pourrait concevoir qu'une pareille migration a dû s'accomplir dans une simple fraction de la période de temps qu'aurait exigée la conversion de l'Afrique et de l'Amérique du Nord en une mer aussi profonde que l'océan Atlantique.

Le détroit de Behring n'est ni plus profond ni plus large

(1) Heer et Gaudin, *Flora Tertiaria Helvetiæ*, vol. III, pl. 156, fig. 9, et *Recherches sur le climat*, pl. 1, fig. 2.

que le détroit de Douvres, de sorte que la réunion de l'Amérique du Nord avec l'Asie n'aurait anciennement demandé qu'un léger changement de niveau, et que l'existence actuelle de ces groupes d'îles, tels que les Kuriles et les Aleutiennes, font concevoir facilement la possibilité de rapports, postérieurement au Miocène, entre le Kamtschatka, le Japon et la Chine. Indépendamment, toutefois, des arguments botaniques qui militent en faveur d'une migration de l'est vers l'ouest, cette dernière théorie explique bien mieux que celle d'une Atlantide Miocène, et sans avoir recours à des hypothèses aussi hasardées, les changements géographiques survenus sur la surface de la terre.

Nous n'avons pas cependant le droit de regarder comme un fait admis, que certains types Américains aient passé en Europe, en traversant les latitudes septentrionales, alors que le Groënland, l'Islande et les Hébrides étaient en communication par la voie d'une terre ferme continue. On pourrait bien arguer en faveur de ce point de vue qu'on a découvert une flore Miocène dans plusieurs parties des terres arctiques, spécialement dans l'île Disco, faisant partie du Groënland, lat. 70° N., ainsi qu'en Islande et enfin dans l'île de Mull dans les Hébrides (p. 386) ; mais, à propos de ces dépôts Miocènes du nord, on devra observer, en premier lieu, que les palmiers et autres formes tropicales y font complétement défaut ; et en second lieu, que la profondeur de l'océan dans les contrées en question est très-considérable. Sir Mac-Clintosh a trouvé, dans les sondages qu'il a opérés pour le projet du télégraphe sous-marin, une profondeur de 1,240 mètres environ entre l'Écosse et l'Irlande, et dans une autre expérience, une profondeur énorme de 2,470 mètres entre l'Islande et le Groënland. Il est possible que le nombre de brasses ne s'élevât pas aussi haut, si l'on explorait les mers arctiques en allant de l'Islande vers le Groënland dans une direction nord-ouest plus avancé, mais nous n'avons pour le moment aucune preuve en faveur de cette supposition.

En résumé, la théorie qui fait dériver les types Américains de l'est au lieu de les faire venir de l'ouest, nous paraît la plus naturelle, et nous semble réunir le plus grand nombre de titres en sa faveur, quand on étudie surtout les coquilles fossiles, les coraux et les plantes de cette période ancienne. En 1850, M. John Carrick Moore observa que certaines coquilles tertiaires de Saint-Domingue laissaient paraître des affinités avec les coquilles miocènes d'Europe (1), et que ces espèces, tout en appartenant principalement aux formes vivantes de l'Atlantique avec lesquelles elles concordaient, étaient pour la plupart si étroitement alliées à la Faune actuelle du Pacifique, qu'on en pouvait conclure l'existence, durant la période Miocène, d'un canal comblé aujourd'hui par l'isthme de Panama, par lequel les mollusques auraient émigré d'un océan dans un autre. Une pareille hypothèse, ajoute-t-il, est d'autant plus admissible, que si l'on considère la situation actuelle de la région, on reconnaît que cet isthme atteint une élévation de plus de 300 mètres, élévation qui n'est pas la moitié de celle à laquelle sont parvenus les lits marins du Miocène de Saint-Domingue depuis le début de leur formation.

Le Docteur Duncan (2) a dernièrement conclu de même, d'après l'examen des coraux de Saint-Domingue, d'Antigue, de la Jamaïque, des Barbades et d'autres îles de l'océan Indien occidental. Ces coraux sont alliés, de la façon la moins équivoque, aux coraux des Faluns de Vienne, Bordeaux, Dax, Saucats et Turin, tandis qu'ils ont en même temps la forme des coraux du Pacifique et non de ceux de la mer Caraïbe et Atlantique. En conséquence, le Docteur Duncan affirme dans ses conclusions que non-seulement il n'existait pas en cet endroit un isthme de Panama, mais qu'il n'y avait pas davantage de terre ferme ou continent Atlantique, formant une grande barrière et séparant les mers Miocènes d'Europe des mers contemporaines des Indes occidentales.

(1) *Quart. Geol. Journ.*, 1850, vol. IV, p. 43.
(2) *Quart. Geol. Journ.*, vol. XIX, p. 455.

Ces divers points de vue s'appliquent principalement à la théorie d'une Atlantide précédemment discutée, parce que les affinités entre les coquilles marines et les coraux se rapportent précisément à cette période (le Miocène Supérieur) où la flore d'Europe était le plus Américaine. Il a bien pu exister dans l'Atlantique, ainsi que le suppose le Docteur Duncan, des îles nombreuses, grandes et petites, comme on en voit aujourd'hui dans les parties abondantes en coraux des océans Pacifique et Indien, mais il y a loin de là à cette terre continue, représentée dans la carte idéale de l'Atlantide de Heer (p. 433), et qui est indispensable pour produire, dans autant de genres et même d'espèces de plantes, l'affinité que l'on remarque entre la flore récente d'Amérique et la flore Miocène de Suisse.

Toutefois, avant de clore ce sujet, il convient d'avertir le lecteur que la majeure partie des arguments employés par ceux qui ont pris part à la discussion sur l'existence probable d'une Atlantide Miocène, soit pour la combattre, soit pour la défendre, s'appuie sur l'hypothèse que la distribution géographique des genres aurait été réglée par des lois exactement analogues à celles qui président à la distribution des espèces. Lorsque le Professeur Heer, en parlant de plantes auxquelles il donne le nom d'homologues, démontre que la moitié environ de ces plantes est commune au Miocène d'Europe et à la flore vivante d'Amérique, et que cette particularité se vérifie plus particulièrement pour les espèces étroitement alliées ou homologues, connues par leurs fruits et leurs feuilles, il fournit un argument dont la force sera pleinement appréciée par tous ceux qui admettent pour chaque espèce un lieu unique de naissance, ou un développement limité dans une étendue géographique d'où ces espèces auraient émigré pour des contrées lointaines : Heer suppose, en effet, que les espèces homologues vivantes descendent héréditairement de leurs parents analogues du Miocène. Mais quand le raisonnement est fondé sur des plantes qui ont seulement une connexion générique, comme

cela arrive très-souvent dans l'ouvrage de Heer, et continuellement dans l'essai du Professeur Oliver, sa puissance dépend de l'hypothèse préalablement admise, que non-seulement les individus d'une espèce, mais encore les différentes espèces d'un genre ont rayonné de certaines étendues géographiques, constituant les points de départ originels de ces mêmes genres. Ce n'est pas ici le moment d'entamer une question aussi difficile et aussi embarrassée que celle de l'origine des espèces ; mais, soit que l'on adopte ou que l'on rejette la doctrine de transmutation, il faut bien avoir dans l'esprit, quand on compare les flores fossile et récente, et qu'on veut résoudre la question de savoir si les plantes miocènes sont venues en Europe par la voie de l'est ou de l'ouest, que deux espèces identiques ou simplement très-voisines sont d'une valeur supérieure à un grand nombre de genres représentés par des espèces peu rapprochées. Ainsi, par exemple, Heer considère le noyer d'Œningen, appelé *Juglans bilinica*, comme l'homologue de l'Hickory, noyer vivant d'Amérique, *Juglans nigra*, et un autre noyer du Miocène Supérieur d'Europe, *Juglans vetusta*, comme l'homologue de notre noyer commun, *Juglans regia*, originaire de Perse. Pourtant, lorsque le Professeur Suisse fonde sur l'un de ces arbres un argument en faveur d'une migration à travers l'Atlantique des noyers du Miocène de Suisse, et que le Professeur Oliver s'appuie sur un autre pour soutenir que ces mêmes espèces ont suivi la voie de l'Asie, ces deux savants raisonnent d'une manière logique, et la force de leurs arguments est en proportion de l'identité ou de l'affinité plus ou moins grande des plantes fossiles et récentes qui ont servi de termes de comparaison. Au reste, plusieurs autres noyers tertiaires de Suisse ont une portée comparativement secondaire dans la question d'une Atlantide Miocène, attendu que le *Juglans*, pris comme genre, existait en Europe pendant l'âge Éocène, et même, suivant Goppert, pendant la période Crétacée antérieure. Toutefois, quelques espèces Miocènes du *Juglans* ont pu provenir d'es-

pèces indigènes de l'Éocène Européen, ou même descendre de celles du Crétacé. La même remarque s'applique à un grand nombre d'ordres et de classes différents qui sont communs à la flore Miocène d'Europe et aux roches tertiaires plus anciennes. C'est ainsi qu'à Monte Bolca, localité où les roches appartiennent à la période nummulitique ou de l'Éocène Moyen, 8 espèces fossiles sur 232 passent audessus, suivant Massalongo et Heer (1), dans les formations du Miocène.

Les Protéacées abondent également dans les couches Éocènes d'Angleterre, de France, d'Italie et dans les roches crétacées près d'Aix-la-Chapelle. C'est par conséquent sur ces contrées que nous devons porter nos regards plutôt que sur l'Australie et l'Afrique, pour découvrir l'origine de la plupart des espèces de cet ordre que nous trouvons à la fois dans les formations du Miocène Supérieur et dans celles du Miocène Inférieur.

Cependant, malgré la prudence que nous devons apporter dans nos jugements sur la prétendue liaison de la flore Miocène d'Europe avec les plantes vivantes de l'Amérique et d'autres contrées, je considère les généralisations de Unger, Asa Gray, Heer, Oliver, etc., à ce sujet, comme d'une très-grande importance, et pense que leurs investigations ne peuvent manquer de jeter une grande lumière sur le passé historique des espèces et des genres dans le règne végétal.

FORMATION DU MIOCÈNE SUPÉRIEUR. INDE.

Collines Siwâlik ou Sub-Himalayennes. — Les collines Siwâlik forment la base occidentale de la chaîne Himalayenne, et s'élèvent à une hauteur de 600 à 900 mètres. Entre le Jumna et le Gange, elles consistent en couches inclinées de grès, de galets, d'argile et de marne. Nous sommes redevables aux infatigables recherches continuées pendant quinze ans, du docteur Falconer et de Sir Proby Cautley

(1) *Recherches*, etc., Heer et Gaudin, p. 79.

ainsi qu'aux travaux d'autres savants officiers du service des Indes, de la découverte, dans ces marnes et grès, d'une grande variété de fossiles mammifères et reptiles, associés à un grand nombre de coquilles d'eau douce. En 1846, quinze espèces de coquilles des genres *Paludina*, *Melania, Ampullaria* et *Unio* furent montrées par Falconer et Cautley au Professeur Forbes, qui déclara toutes ces espèces éteintes ou inconnues, à l'exception de quatre, qui habitent encore les rivières de l'Inde. Une pareille proportion entre les mollusques vivants et les mollusques éteints concorde parfaitement avec le caractère habituel d'une faune Miocène Supérieure ou Falunienne, que l'on observerait en Touraine, ou dans le bassin de Vienne, et ailleurs.

Les genres des mammifères y montrent les mêmes analogies. L'un d'eux, primitivement appelé *Anoplotherium*, que l'on supposa, au moment de sa découverte, former un lien générique entre cette faune Indienne et celle de la période Éocène d'Europe, est actuellement considéré comme une espèce de *Chalicotherium* (*Anisodon* de Lartet), genre de pachyderme intermédiaire entre le *Rhinocéros* et l'*Anoplothère*, caractéristique des couches du Miocène Supérieur d'Eppelsheim, ainsi que de celles de Sansans, département du Gers, midi de la France. On y rencontre aussi une forme éteinte d'hippopotame, appelé *Hexaprotodon;* une espèce d'*Hippotherium* et de porc, deux espèces de Mastodonte, deux d'éléphant et trois autres proboscidiens du même genre éléphant. Aucun de ces fossiles ne s'accorde avec les formes d'Europe, et ne peut servir d'intermédiaire entre les genres éléphant et mastodonte, constituant le sous-genre *Stegodon* de Falconer. Ces couches renferment encore un singe allié au *Semnopithecus entellus*, actuellement vivant dans l'Himalaya, et plusieurs ruminants. Parmi ces derniers, on peut citer, outre la girafe, le chameau, l'antilope, le cerf commun, etc., un nouveau type remarquable, le *Sivatherium*, ressemblant à un daim gigantesque à quatre bois. On y remarque également de nouvelles formes de carnivores, félines

et canines, le *Machairodus*, par exemple, appartenant à la première de ces espèces, des hyènes, un sous-genre oursin, le *Hyænarctos*, et un animal d'une taille formidable, parent de la loutre (Enhydriodon).

La girafe, le chameau, et une énorme autruche prouveraient que de vastes plaines se déroulaient anciennement à la place aujourd'hui occupée par la chaîne de collines escarpées, avec ravins profonds, qui courent de l'est à l'ouest sur une étendue de plusieurs centaines de kilomètres. Parmi les reptiles associés à ces fossiles, on rencontre plusieurs crocodiles, quelques-uns aux dimensions énormes, et l'un d'eux complétement identique, suivant Falconer, à une espèce vivant aujourd'hui dans le Gange (*C. gangeticus*), ainsi qu'un autre Saurien identifié par le même anatomiste avec une espèce actuelle de l'Inde. On y trouve enfin une espèce éteinte de tortue aux proportions gigantesques (*Colossochelys Atlas*), dont la carapace mesure $4^{m},30$ de long sur $2^{m},40$ de diamètre ; on estime que la longueur totale de l'animal devait être de 6 mètres, et sa hauteur de $2^{m},10$.

On n'a pas lieu d'être surpris que quelques-uns de ces reptiles, aussi bien qu'un grand nombre de coquilles, aient pu survivre du Miocène Supérieur jusqu'à l'âge de l'homme, car nous n'avons aucune raison de supposer que la température moyenne de l'Inde, durant la période Miocène, différât matériellement de celle qui y règne actuellement, bien que le climat ait dû être grandement modifié par la révolution survenue depuis dans la géographie physique du district. La chaleur peut être aujourd'hui aussi élevée, sinon plus forte, qu'à l'époque de l'existence des *Sivatherium* et *Chalicotherium*.

On a également recueilli de nombreux fossiles du type Siwâlik dans l'île de Perim, dans le golfe de Gambay, et parmi ceux-ci une espèce de *Dinotherium*, genre si caractéristique de la période Miocène Supérieure d'Europe.

Iles de l'Atlantique. — Je dirai quelques mots sur les formations d'origine marine du Miocène Supérieur dans l'île

de Madère, dans les Canaries et les Açores, quand je traiterai, dans le trente et unième chapitre, des roches volcaniques de ces contrées.

Formations du Vieux Pliocène et du Miocène aux États-Unis. — Entre les monts Alleghany, formés de roches anciennes, et l'Atlantique, intervient, aux États-Unis, une région basse, occupée principalement par des couches de marne, d'argile et de sable se rapportant aux formations Crétacée et Tertiaire, mais principalement à cette dernière. L'élévation de cette plaine qui borde l'Atlantique ne dépasse pas généralement 30 mètres, bien que sur quelques points elle atteigne plusieurs centaines de mètres. Sa largeur, dans les États du centre et du sud, est habituellement de 150 à 200 kilomètres. Dans la Géorgie, l'Alabama et la Caroline du Sud, elle est presque entièrement composée de dépôts Éocènes ; mais, dans la Caroline du Nord, le Maryland, la Virginie, le Delaware, on reconnaît la prédominance de couches plus modernes ; un examen fait en 1842 m'a conduit à les rapporter à la période du Crag d'Angleterre et des Faluns de Touraine (1). Si, chronologiquement parlant, ces couches peuvent être regardées comme représentant les deux formations Européennes, on doit les ranger, pour l'âge, entre l'époque du Vieux Pliocène et celle du Miocène, suivant la classification des couches Européennes adoptée dans ce chapitre.

Sur 147 coquilles fossiles que j'ai recueillies, la proportion de celles qui se rapportent à des espèces récentes s'élève à environ 17 pour 100 ; c'est-à-dire un sixième du total ; mais, comme les fossiles ainsi identifiés représentent presque toujours des espèces qui vivent aujourd'hui dans l'Atlantique, le nombre s'en accroîtra certainement lorsque la faune vivante de cet océan sera mieux connue. Du reste, la proportion des espèces récentes varie considérablement dans les différentes localités.

Sur les bords de la rivière James dans la Virginie, à environ 32 kilomètres au-dessous de Richmond, j'ai observé dans un

(1) *Proceed. of the Geol. Soc.*, vol. IV, part. 3, 1845, p. 547.

escarpement de 9 mètres de haut, des sables jaunes et blancs reposant sur une marne Éocène, précisément comme les sables jaunes du Crag recouvrent l'argile bleue de Londres, dans le Suffolk et dans l'Essex en Angleterre. Dans ces sables de la Virginie, j'ai trouvé à profusion une espèce d'Astarte (*A. undulata*, Conrad) qui ressemble beaucoup à l'*Astarte bipartita*, l'une des espèces les plus communes à l'état fossile dans le Crag de Suffolk, et dont elle n'est peut-être qu'une variété ; les coquilles qui se rapportent aux genres *Natica*, *Fissurella*, *Artemis*, *Lucina*, *Chama*, *Pectunculus* et *Pecten,* présentent une double analogie avec celles du Crag d'Angleterre et celles des Faluns de France, bien que les espèces soient presque toutes dictinctes. Sur ces 147 fossiles d'Amérique, je n'en ai rencontré que 13 qui fussent communs à l'Europe ; on les trouve en partie dans le Crag de Suffolk, et en partie dans les Faluns de Touraine ; mais un trait caractéristique du groupe d'Amérique, c'est que non-seulement il contient plusieurs formes éteintes particulières telles que *Fusus quadricostatus*, Say (fig. 208), et *Venus tridacnoides,* abondantes dans les mêmes formations, mais aussi quel-

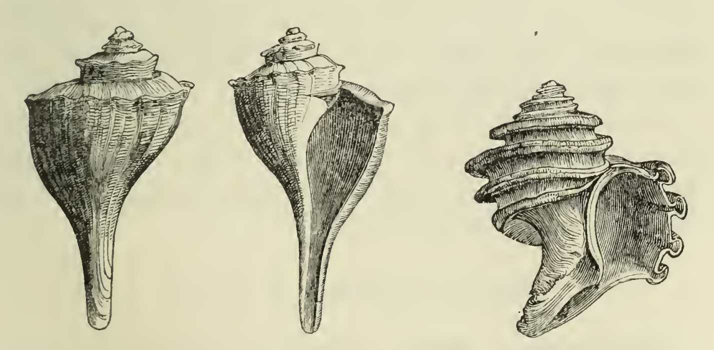


FIG. 207. — *Fulgur canaliculatus* (Maryland). FIG. 208. — *Fusus quadricostatus*, Say (Maryland).

ques coquilles, comme les *Fulgur carica* de Say et *F. canaliculatus* (fig. 207), *Calyptræa costata*, *Venus mercenaria*, Lam., *Modiola glandula*, Totten, et *Pecten Magellanicus*, Lam., qui sont des espèces récentes, et, de plus, des formes

aujourd'hui confinées sur le côté occidental de l'Atlantique. Ce fait implique que certaines traces du commencement de la distribution géographique actuelle des mollusques remontent jusqu'à la période Miocène.

Parmi les zoophytes, au nombre de dix, que m'avaient fournis les bords de la rivière James, une espèce avait été d'abord admise par M. Lonsdale comme identique avec un fossile des Faluns de Touraine (fig. 209); mais un nouvel examen a fait voir qu'elle en différait et se rapportait génériquement à un corail qui vit aujourd'hui sur la côte des États-Unis. Relativement au climat, M. Lonsdale regarde ces coraux comme indiquant une température supérieure à celle de la Méditerranée, et les coquilles conduiraient à des conclusions semblables. Les fossiles de la rivière James sont par le 37e degré de latitude N., tandis que les Faluns de France sont au 47e. Cependant les formes d'Amérique indiqueraient difficilement un climat aussi chaud que celui qui a dû régner en France à l'époque de l'origine des couches Miocènes de Touraine.

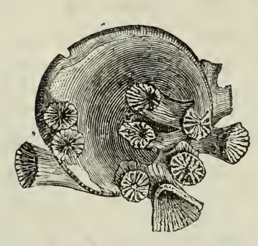


Fig. 209. — *Astrangia lineata* (Lonsdale). Syn. *Anthophyllum lineatum;* Williamsburg, Virginie.

Parmi les débris de poissons qui appartiennent à ces couches Post-éocènes des États-Unis, il faut citer des dents de squales divers qui ne diffèrent point spécifiquement des fossiles faluniens de la Touraine.

MIOCÈNE INFÉRIEUR. ÉTATS-UNIS.

Nébraska. — Dans le territoire de Nébraska, sur le Missouri Supérieur, près de la rivière Platte, à une latitude de 42° N., on rencontre une formation tertiaire consistant en calcaire blanc, marne et argile siliceuse ; le Docteur Dale Owen l'a décrite (1) : on y a trouvé de nombreux ossements

(1) David Dale Owen, *Geol. Survey of Wisconsin*, etc. Philadelphie, 1852.

de quadrupèdes éteints et des formes de chéloniens terrestres et d'eau douce. Parmi ces fossiles, le Docteur Leidy a décrit un quadrupède gigantesque, auquel il a donné le nom de *Titanotherium*, proche parent du *Palæotherium*, mais plus grand qu'aucune des espèces du gypse Parisien ; plusieurs espèces du genre nouveau *Oreodon*, Leidy, réunissant les caractères des pachydermes et des ruminants : l'*Eucrotaphus*, autre genre nouveau de même caractère mixte ; deux espèces de rhinocéros du sous-genre *Acerotherium*, forme du Miocène Inférieur d'Europe dont nous avons déjà parlé ; deux espèces d'*Archæotherium*, pachyderme allié au *Chæropotamus* et à l'*Hyracotherium ;* le *Pœbrotherium* ruminant éteint, voisin du *Dorcatherium*, Kaup ; l'*Agriochægus* de Leidy, ruminant qui se rapproche du *Merycopotamus* de Falconer et Cautley ; et enfin un grand animal carnivore du genre *Machairodus*, dont l'exemple le plus ancien en Europe se rencontre dans les couches du Miocène Inférieur d'Auvergne, et dont on trouve quelques espèces dans les dépôts Pliocènes. Les tortues sont classées dans le genre *Testudo*, mais elles ont quelque affinité avec l'*Emys*. En somme la formation de Nébraska est probablement plus nouvelle que le gypse de Paris et doit être rapportée à la période du Miocène Inférieur, telle qu'elle a été définie ci-dessus.

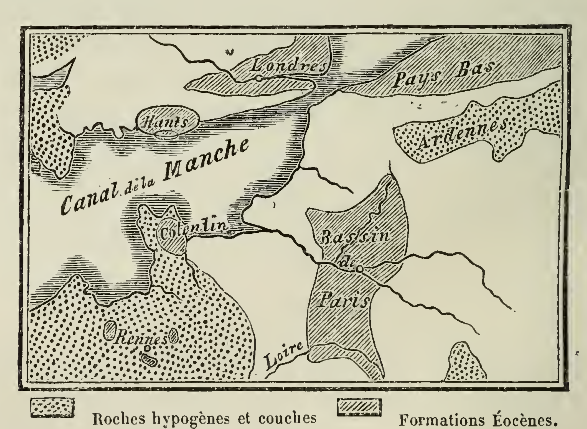
CHAPITRE XVI

FORMATIONS ÉOCÈNES.

Couches de l'Éocène Supérieur d'Angleterre. — Série fluvio-marine de l'île de Wight et du Hampshire. — Groupes successifs de Mammifères Éocènes. — Ligne de démarcation entre le Miocène Inférieur et l'Éocène. — Fossiles de l'argile de Barton. — Éocène Moyen d'Angleterre. — Coquilles, nummulites, poissons et reptiles des lits de Bagshot et de Bracklesham. — Végétation de l'Éocène Moyen. — Couches de l'Éocène Inférieur d'Angleterre. — Plantes fossiles et coquilles de l'Argile propre de Londres. — Couches de Kyson dans le Suffolk. — Argiles plastiques et sables. — Sables de Thanet. — Formations Éocènes de France. — Série gypseuse de Montmartre et quadrupèdes éteints qu'elle contient. — Empreintes de pas fossiles. — Calcaire grossier. — Miliolites. — Éocène Inférieur en France. — Formations nummulitiques d'Europe, d'Afrique et d'Asie. — Leur vaste étendue. — On doit les rapporter à la période de l'Éocène Moyen. — Couches Éocènes aux États-Unis. — Coupe à Claiborne, Alabama. — Cétacé colossal. — Calcaire à orbitoïdes. — Burr Stone.

Les couches qui viennent ensuite dans l'ordre descendant

Fig. 210. — Carte des principaux bassins tertiaires de la période Éocène.



Roches hypogènes et couches plus anciennes que le Devonien, ou série du Vieux Grès Rouge.

Formations Éocènes.

N. B. L'espace laissé en blanc est occupé par les formations secondaires, depuis le Devonien ou Vieux Grès Rouge, jusqu'à la Craie inclusivement.

sont celles que j'appelle Éocène Supérieur. J'ai tracé dans la

carte ci-dessus la position de plusieurs surfaces Éocènes, telles que le bassin de la Tamise, une partie du Hampshire, une portion des Pays-Bas et les environs de Paris. Les trois dernières régions contiennent quelques-unes des formations marine et d'eau douce dont il a été question dans le Miocène Inférieur, mais leur étendue superficielle dans cette partie de l'Europe est insignifiante, excepté dans le bassin de Paris, entre la Seine et la Loire.

FORMATIONS DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR. ANGLETERRE.

Le tableau suivant montre l'ordre de succession des couches que l'on a rencontrées dans les régions tertiaires, communément appelées bassins de Londres et du Hampshire. (Voyez aussi le tableau page 166 et suivantes.)

		Épaisseur. Mètres.
	MIOCÈNE INFÉRIEUR.	
	Couches de Hempstead, île de Wight (voyez ci-dessus, p. 383)...	51
	ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.	
A. 1.	Série de Bembridge. — Côte nord de l'île de Wight...........	36
A. 2.	Série d'Osborne ou de Sainte-Hélène. — *Ibid*.................	30
A. 3.	Série de Headon. — Ile de Wight et Hordwell-cliff, Hants.....	51
A. 4.	Argile de Barton. — Ile de Wight et Barton-Cliff, Hants........	91
	ÉOCÈNE MOYEN.	
B.	Sables et argiles de Bagshot et Bracklesham (bassins de Londres et de Hants)...	213
	ÉOCÈNE INFÉRIEUR.	
C. 1.	Argile propre de Londres et couches de Bognor (bassins de Londres et de Hants)..................................	106 à 152
C. 2.	Argiles plastiques ou à modeler et sables (bassins de Londres et de Hants)...	30
C. 3.	Sables de Thanet (Reculvers, Kent et partie orientale du bassin de Londres)...	27

La véritable position des couches de Hempstead et de Bembridge, A. 1, et des séries d'Osborne ou de Sainte-Hé-

lène, A. 2, n'avait point été reconnue d'une manière satisfaisante jusqu'à l'époque où le Professeur Forbes l'étudia dans ses détails, en 1852. Celle des sables de Bagshot, B, et des sables de Thanet, C. 3, a été pour la première fois parfaitement établie par M. Prestwich, en 1847 et 1852.

ÉOCÈNE SUPÉRIEUR. ANGLETERRE.

Série de Bembridge. A. 1. — Ces couches ont une épaisseur d'environ 36 mètres, et, comme nous l'avons établi (p. 384), leur stratification est concordante avec celles de Hempstead, près de Yarmouth, dans l'île de Wight. Elles consistent en marne, argile et calcaire d'eau douce, d'origine saumâtre ou marine. Quelques-unes des coquilles les plus abondantes, telles que *Cyrena semistriata* var. et *Paludina lenta* (fig. 176), sont communes à ces couches ainsi qu'à la série de Hempstead qui les recouvre ; mais les espèces sont distinctes, pour la majeure partie. Voici les sous-divisions qu'a décrites le Professeur Forbes :

a. Marnes supérieures caractérisées par l'abondance de la *Melania turritissima*, Forbes (fig. 211).

b. Marne inférieure caractérisée par le *Cerithium mutabile*, la *Cyrena pulchra*, etc., et par des débris de *Trionyx* (fig. 212).



FIG. 211. — *Melania turritissima*, Forbes (Bembridge).



FIG. 212. — Portion de carapace de *Trionyx*, couches de Bembridge (île de Wight).

c. Marne verte où abonde souvent une espèce particulière d'huître, accompagnée de *Cérithes*, de *Moules*, d'une *Arca* et d'une *Nucula*, etc.

d. Calcaires de Bembridge, compactes, couleur de crème, alternant avec des marnes et des schistes dans lesquels toutes les coquilles d'eau douce sont communes, spécialement à Sconce, près de Yarmouth. Ces coquilles ont été

décrites par M. Edwards ; les plus connues sont le *Bulimus ellipticus* (fig. 213) et l'*Helix occlusa* (fig. 214). La *Paludina orbicularis* (fig. 215) y est aussi fréquente. L'un des bancs est rempli d'une petite *Paludine* glo-

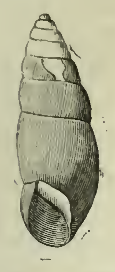


FIG. 213. — *Bulimus ellipticus* Sow. ; demi-grandeur naturelle. (Calcaire de Bembridge.)

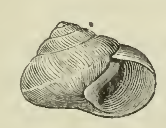


FIG. 214. — *Helix occlusa*, Edwards. (Calcaire de Bembridge, île de Wight.)

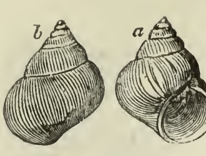


FIG. 215. — *Paludina orbicularis*. (Bembridge.)

bulaire. Parmi les coquilles d'eau douce à respiration pulmonaire, la *Limnea longiscata* (fig. 217) et le *Planorbis discus* (fig. 216) sont celles que l'on y rencontre le plus ordinairement ; la dernière représente ou remplace le

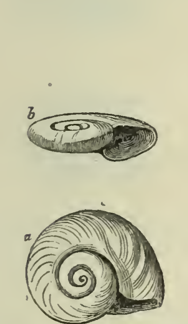


FIG. 216. — *Planorbis discus*, Edwards (Bembridge). Demi-diamètre.

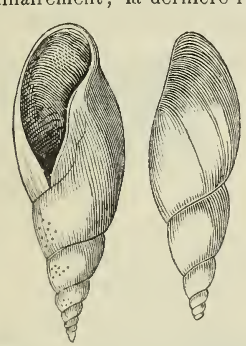


FIG. 217. — *Limnea longiscata*, Brad. Grandeur naturelle.



FIG. 218. — *Chara tuberculata*. Calcaire de Bembridge (île de Wight).

Planorbis euomphalus (fig. 221) de la série plus ancienne de Headon. Le *Chara tuberculata* (fig. 218) est la gyrogonite caractéristique de Bembridge

Le Docteur Mantell a extrait de cette formation, sur la plage de Whitecliff-Bay, un bel échantillon d'un palmier-éventail (*Flabellaria Lamanonis*, Brong.), plante qui avait été déjà trouvée dans les couches correspondantes des environs de Paris. On range dans cette sous-division la pierre à bâtir

bien connue de Binstead près de Ryde, calcaire percé de nombreux trous produits par des *Cyrenæ* qui ont disparu en laissant les moules de leurs coquilles. Dans la même pierre, MM. Pratt et Rév. Darwin Fox ont, les premiers, découvert des débris des mammifères caractéristiques de la série gypseuse de Paris, tels que *Palæotherium magnum* (fig. 220), *P. medium*, *P. minus*, *P. minimum*, *P. curtum*, *P. crassum*, et aussi l'*Anoplotherium commune* (fig. 219), *A. secundarium*, *Dichobune cervicum* et *Chœropotamus Cuvieri*. Le genre *Palæotherium* se rapprochait du tapir actuel par la forme de la tête et par la courte trompe dont il était muni ; mais ses dents molaires ressemblaient davantage à celles du Rhinocéros. Le *Palæotherium magnum* était de la grosseur d'un cheval ; sa hauteur était de 1 mètre à 1m,25. La figure 220

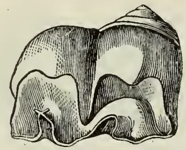


FIG. 219. — Molaire inférieure, grandeur naturelle, d'*Anoplotherium commune*. Binstead (île de Wigth.)

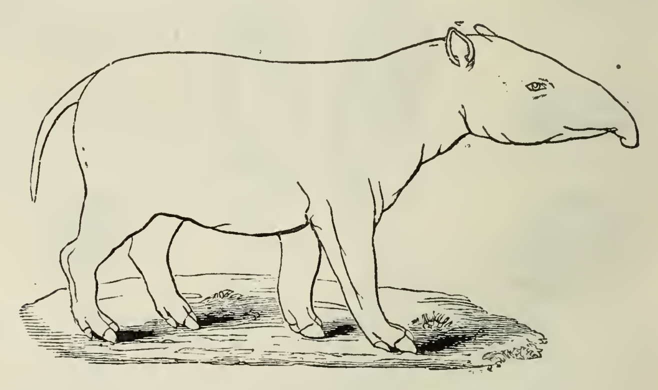


FIG. 220. — *Palæotherium magnum*, Cuvier.

donne une esquisse de l'animal vivant dont Cuvier essaya la restauration d'après l'étude du squelette entier. Si le nombre des espèces particulières de quadrupèdes, autant du moins que nous le connaissons, est beaucoup plus restreint que celui des espèces testacées, la présence à Binstead d'espèces aussi nombreuses s'accordant avec les fossiles

du gypse de Paris, vient corroborer les preuves que nous fournissent les coquilles et les plantes de la contemporanéité des deux formations.

Série d'Osborne ou de Sainte-Hélène, A. 2. — Ce groupe est d'origine d'eau douce ou d'eau saumâtre, et varie beaucoup dans son épaisseur et ses caractères minéralogiques. Près de Ryde, il fournit une pierre de taille très-recherchée pour la bâtisse, et appelée par M. Forbes *grit*, grès grossier de Nettlestone. Ailleurs on rencontre une ardoise à surface ondulée, et des roches avec traces de fucoïdes. Les couches d'Osborne sont caractérisées par des espèces particulières de *Paludina*, *Melania*, *Melanopsis* et *Cypris*, ainsi que par des graines de *Chara*.

Série de Headon, A. 3. — On observe les couches de cette série à Whitecliff-Bay et à Headon-Hill, ainsi qu'aux extré-



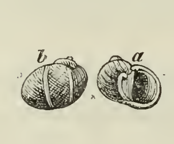
FIG. 221. — *Planorbis euomphalus*, Sow. (Headon-Hill), demi-diamètre.

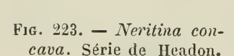
FIG. 222. — *Helix labyrinthica*, Say. Headon-Hill (île de Wight), et Hordwell-Cliff (Hants); se rencontre aussi à l'état vivant.

mités est et ouest de l'île de Wight. Les portions supérieures et inférieures sont d'eau douce, les moyennes sont d'origine mixte, tantôt d'eau saumâtre, tantôt marines. Partout la *Planorbis euomphalus* (fig. 221) caractérise les dépôts d'eau douce, de même que la forme voisine, *P. disc s* (fig. 216), caractérise le calcaire de Bembridge. Les couches d'eau saumâtre contiennent les *Potamomya plana*, *Cerithium mutabile* et *Potamides cinctus* (fig. 44); les couches marines contiennent la *Venus* (ou *Cytherea*) *incrassata*, espèce commune aux couches du Limbourg et au Grès de Fontainebleau, c'est-à-dire à la série du Miocène Inférieur.

La prédominance des restes organiques d'eau salée devient bien plus remarquable dans quelques-unes des parties centrales de la formation. M. T. Webster, dans un mémoire remarquable sur l'île de Wight, a divisé tout l'ensemble en groupe d'eau douce inférieur, groupe marin supérieur et groupe d'eau douce supérieur.

Parmi les coquilles largement distribuées dans la série de Headon, on cite les *Neritina concava* (fig. 223), *Lymnea caudata* (fig. 224) et *Cerithium concavum* (fig. 225). L'*Helix*




FIG. 223. — *Neritina concava*. Série de Headon.

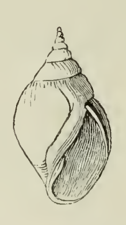

FIG. 224. — *Lymnea caudata*. Couches de Headon.


FIG. 225. — *Cerithium concavum*. Série de Headon.

labyrinthica, Say (fig. 222), coquille terrestre qui habite aujourd'hui les États-Unis, a été découverte dans cette série par M. Wood, au rocher de Hordwell. On la rencontre aussi dans Headon-Hill, au sein des mêmes couches. A Sconce, île de Wight, elle se trouve dans la série de Bembridge, et offre le rare exemple d'un fossile Éocène d'espèce vivante, bien qu'on n'observe, comme cela est ordinaire en pareil cas, aucune connexion locale avec la distribution géographique actuelle de l'espèce.

La portion inférieure et moyenne de la série de Headon existe au rocher de Hordwell (ou Hordle, comme on écrit souvent), près de Limington, Hants, où ses débris organiques ont été étudiés par M. Searles Wood, le Docteur Wright et la Marquise de Hastings. Nous devons à cette dame la description détaillée d'une section des couches (1) et la dé-

(1) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 1852, p. 191.

couverte d'une quantité d'espèces nouvelles de mammifères, de chéloniens et de poissons fossiles ; c'est encore elle qui, la première, a fait voir que ces vertébrés diffèrent spécifiquement de ceux des couches de Bembridge. Les coquilles qui abondent à Hordwell sont la *Paludina lenta* et différentes espèces de *Lymnea*, *Planorbis*, *Melania*, *Cyclas*, *Unio*, *Potamomya*, *Dreissena*, etc.

Au nombre des chéloniens, on cite une espèce d'*Emys* et six espèces de *Trionyx ;* parmi les sauriens, un alligator et un crocodile ; parmi les ophidiens, deux espèces de serpents terrestres (*Paleryx*, Owen) ; parmi les poissons, Sir P. Egerton et M. Wood ont trouvé des mâchoires, des dents et des écailles dures, brillantes, du genre *Lepidosteus* ou brochet osseux des rivières d'Amérique. On a signalé ce même genre de gadoïdes d'eau douce au sein des couches de Hempstead (île de Wight). Des os de plusieurs oiseaux ainsi que des débris de quadrupèdes ont été extraits à Hordwell. Ceux-ci appartiennent aux genres *Paloplotherium* de Owen, *Anoplotherium*, *Anthracotherium*, *Dichodon* de Owen (genre nouveau découvert par M. A. H. Falconer), *Dichobune*, *Spalacodon* et *Hyænodon*. Ce dernier quadrupède offre, si je ne me trompe, le plus ancien exemple connu d'un vrai carnivore dans la série des fossiles d'Angleterre ; toutefois je n'attache qu'une très-faible importance théorique à ce fait, car les espèces herbivores sont les plus fréquentes à l'état fossile dans tous les dépôts conservés des cavernes. Ce qui rend encore cette faune intéressante, c'est que sa position géologique est de beaucoup inférieure à celle des couches de Brembridge ou de Montmartre, dont elle diffère presque autant, quant aux espèces, que la faune encore plus ancienne des couches de l'Éocène Inférieur. Elle nous retrace, par conséquent, la longue succession des groupes distincts de mammifères qui ont vécu sur la terre pendant la période Éocène.

Plusieurs des coquilles appartenant aux couches d'eau saumâtre de la série ci-dessus indiquée, dans l'île de Wight

et au rocher de Hordwell, sont communes à l'argile de Barton qui gît au-dessous; et, d'un autre côté, quelques-unes des espèces d'eau douce, telles que *Cyrena obovata*, se retrouvent dans les couches de Brembridge, malgré l'interposition de la série de Sainte-Hélène. Les marnes blanches et vertes de la série de et Headon, quelques-uns des calcaires qui les accompagnent, ressemblent souvent, sous le rapport de la couleur et du caractère minéralogique, aux couches Éocènes de France; si bien, que l'on croirait le sédiment dérivé de la même région, ou produit dans le même temps et avec des circonstances géographiques tout à fait semblables.

On a obtenu récemment à Brockenhurst, près de Lyndhurst, dans le New-Forest, des couches marines contenant cinquante-neuf coquilles, dont la majeure partie a été décrite par Falconer. Ces lits reposent sur le Headon Inférieur et sont considérés comme l'équivalent de la portion moyenne de la série d'Headon ; la plupart de ces coquilles sont communes aux couches d'eau saumâtre ou Headon Moyen de Colwell et de Whitecliff-Bay, ce sont les *Cancellaria muricata*, Sow., *Fusus labiatus*, Sow., etc. Le Baron von Könen (1) a fait remarquer que, sur ces cinquante-neuf coquilles de Brockenhurst, il n'y en avait pas moins de quarante-six, soixante-dix-huit pour cent, qui concordent avec les espèces du Tongrien Inférieur de Dumont, en Belgique. Dans ce cas, si l'on avait la formation marine équivalente de la série de Bembridge ou du gypse contemporain de Paris, on aurait toute raison de s'attendre à trouver dans ces couches un nombre bien plus considérable de coquilles communes au Tongrien de Belgique, mais la corrélation de ces groupes d'eau douce de France, de Belgique et d'Angleterre, n'a pas encore été parfaitement déterminée. Il est possible que le Tongrien de Dumont soit plus récent que la série de Bembridge, et se rapporte, par conséquent, à la période du Miocène Inférieur, suivant la classification que j'ai adoptée dans le chapitre XIV, page 348.

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. XX, p. 97. 1864.

Si même toute la série était complète, on découvrirait probablement la formation marine équivalente des lits de Bembridge ou Éocène Supérieur, passant par des nuances imperceptibles dans les couches sus-jacentes du Miocène Inférieur.

Parmi les fossiles recueillis dans le Headon Moyen, on cite les *Cytherea incrassata* et *Cerithium plicatum* (fig. 173, p. 383). Ces coquilles, spécialement la dernière, sont très-caractéristiques du Miocène Inférieur, et leur rencontre dans la série de Headon a été objectée contre la ligne de démarcation proposée entre le Miocène et l'Éocène. Mais si nous étions obligés d'attacher de l'importance à de tels passages accidentels, nous serions bientôt réduits à ne pouvoir tracer aucune ligne de division, car dans l'état actuel de nos connaissances concernant la série tertiaire, on trouvera toujours des espèces communes aux couches situées au-dessus et au-dessous de nos lignes de démarcation.

Au rocher de Hordwell et dans l'île de Wight, les couches de Headon reposent sur des sables blancs employés pour la fabrication du verre, et elles constituent le membre supérieur de la série de Barton, A. 4, ci-dessous mentionnée.

Sables blancs et Argile de Barton, A. 4. (tableau p. 449). — Dans l'une des couches supérieures, sableuses, de cette formation, le Docteur Wright a trouvé en grande abondance la *Chama squamosa*. Les mêmes sables contiennent, spécialement à Whitecliff-Bay, des empreintes de plusieurs coquilles marines communes aux sables supérieurs de Bagshot dont nous donnons plus loin la description. L'argile de Barton, située au-dessous, a fourni environ 252 coquilles marines dont plus de la moitié, suivant M. Prestwich, sont particulières; une seulement sur vingt est commune à l'argile propre de Londres, ou groupe Éocène beaucoup plus ancien, avec lequel on confondait autrefois l'argile de Barton.


Fig. 226.
Chama squamosa,
Barton.

Un tiers environ des coquilles de l'argile de Barton con-

corde spécifiquement avec les espèces du calcaire grossier du bassin de Paris (1). Il s'est écoulé près d'un siècle depuis que Brander publia, en 1766, un relevé des restes organiques recueillis dans ces rochers de Barton et d'Hordwell, et les figures qu'il donna de ces coquilles alors déposées dans le British Museum excitent, par leur exécution remarquable, la juste admiration de tous les conchyliologistes.

COQUILLES DE L'ARGILE DE BARTON, HANTS.

Lorsqu'on étudie, par ordre descendant, les formations



FIG. 227. *Mitra scabra.*

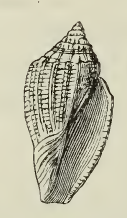


FIG. 228. *Voluta ambigua.*



FIG. 229. *Typhis pungens.*

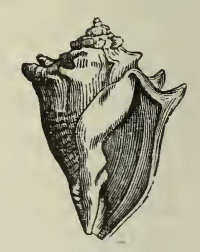


FIG. 230. *Voluta athleta,* Barton et Bracklesham.

tertiaires, on voit certains foraminifères, appelés Nummu-



FIG. 231. — *Terebellum fusiforme,* Barton et Bracklesham.



FIG. 232. *Terebellum sopita* Brander, Lam. *Seraphs convolutum,* Montf.



FIG. 233. *Cardita sulcata.*

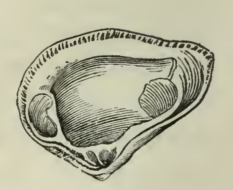


FIG. 234 *Crassatella sulcata.*

lites, se présenter pour la première fois dans ces couches de

(1) *Quart. Geol. Journ* , vol. XIII, p. 134. London, 1857.

Barton. Une petite espèce, *Nummulites variolaria*, se rencontre simultanément sur la côte du Hampshire et au sein des couches du même âge de Whitecliff-Bay, île de Wight. Plusieurs coquilles marines, telles que *Corbula pisum*, etc., sont communes aux couches de Barton et à la série de Hempstead ou Miocène Inférieur, et un plus grand nombre encore le sont à la série de Headon.

ÉOCÈNE MOYEN, ANGLETERRE.

Couches de Bagshot et de Brackleshham, B. — Les couches de Bagshot, consistant principalement en sable siliceux, occupent une grande étendue autour de Bagshot, Surrey, et dans le New-Forest, Hampshire. On peut les partager en trois divisions, formées : la supérieure et l'inférieure d'un sable jaune pâle, et la moyenne de sables vert foncé et d'argiles brunes; le tout reposant sur l'Argile propre de Londres (1). La division supérieure est probablement du même âge que la série de Barton. Bien que les couches de

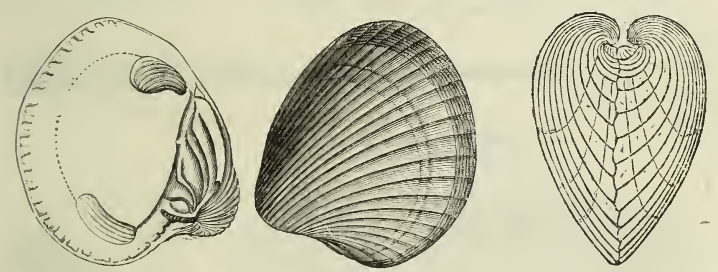


FIG. 235. — *Venericardia planicosta*, Lam. — *Cardita planicosta*, Deshayes.

Bagshot soient généralement dépourvues de fossiles, elles contiennent, en quelques endroits, des coquilles marines parmi lesquelles abondent la *Venericardia planicosta* (fig. 235), la *Turritella sulcifera* et la *Nummulites lævigata* (fig. 239, p. 458). C'est à Bracklesham-Bay, près de Chichester, Sussex, que les coquilles caractéristiques de ce membre

(1) Prestwich, *Quart. Geol. Journ.*, t. III, p. 386.

de la série Éocène sont le mieux connues, entre autres le grand *Cerithium giganteum*, si remarquable dans le calcaire grossier de Paris où il atteint quelquefois 0^{m}, 60 de longueur. Les volutes et d'autres coquilles de cette forma-

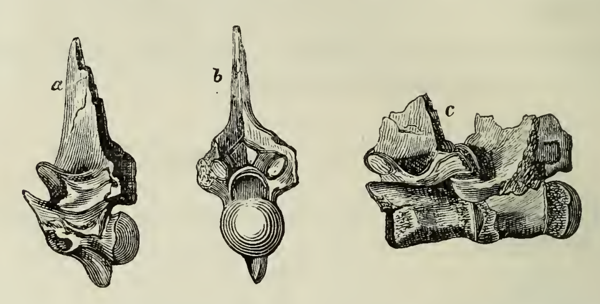


Fig. 236. — *Palæophis typhæus*, Owen ; serpent de mer, Éocène, Bracklesham. *a, b.* Vertèbres, avec leurs longues apophyses dorsales conservées. — *c.* Deux vertèbres, articulation naturelle.

tion, de même que les lunulites et les coraux, semblent indiquer qu'un climat chaud aurait prévalu dans cette région, idée qui serait confirmée par la découverte d'un serpent, *Palæophis typhæus* (fig. 236), dépassant, suivant M. Owen,

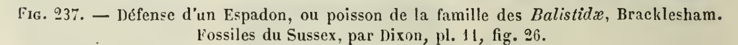


Fig. 237. — Défense d'un Espadon, ou poisson de la famille des *Balistidæ*, Bracklesham. Fossiles du Sussex, par Dixon, pl. 11, fig. 26.

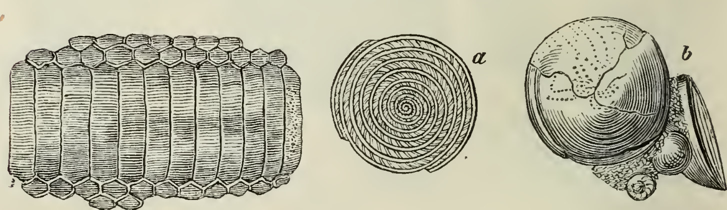


Fig. 238. — Plaques dentaires du *Myliobates Edwardsi*, baie de Bracklesham, *ibid.*, pl. 8.

Fig. 239. — *Nummulites* (*Nummularia*) *lævigata*. Bracklesham, *ibid.*, pl. 8. — *a.* Coupe de la Nummulite. — *b.* Groupe, avec individu montrant l'extérieur de la coquille.

6 mètres de long, et voisin, par sa configuration osseuse, du Boa, du Python, de la Couleuvre et de l'Hydre. La forme comprimée et la diminution de quelques-unes des vertèbres

caudales présentent une telle analogie avec l'Hydre, que M. Owen a cru pouvoir déclarer que cet ophidien éteint habitait les mers (1). Après avoir victorieusement combattu l'existence, à l'époque actuelle, de serpents de mer gigantesques dans l'océan Septentrional, ce savant soutient aujourd'hui l'existence, dans les mers Éocènes d'Angleterre, de serpents présentant des dimensions moindres, à une époque où le climat était probablement plus chaud. Parmi les compagnons du serpent de mer de Bracklesham, on a rencontré



FIG. 240. — *Carcharodon heterodon*, Agass.

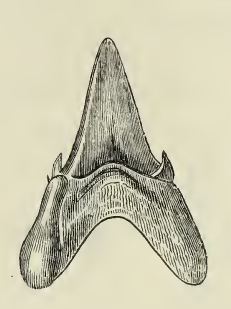


FIG. 241. — *Otodus obliquus*, Agass.



FIG. 242. — *Lamna elegans*, Agass.

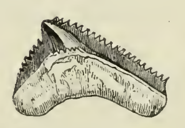


FIG. 243. — *Galeocerdo latidens*, Agass.

Dents de requins, de la baie de Bracklesham.

un Gavial éteint (*Gavialis Dixoni*, Owen) et de nombreux poissons d'espèces qui habitent aujourd'hui les mers des latitudes chaudes, telles que l'Espadon dont on a représenté une épine (fig. 237) et des raies gigantesques du genre *Myliobates* (fig. 238).

Des dents de requins des genres *Carcharodon*, *Otodus*,

(1) *Palæont. Soc.*, *Monograph. Rept.*, Part. II, p. 61.

Lamna, *Galcocerdo* et autres abondent aussi à Bracklesham (fig. 240, 241, 242, 243). La *Nummulites lævigata* (fig. 239), si caractéristique des couches inférieures du Calcaire Grossier de France, où elle forme quelquefois de véritables lits pierreux, comme aux environs de Compiègne, y est très-commune en même temps que la *N. scabra* et la *N. variolaria.* Sur 193 espèces de testacés que l'on a recueillies dans les couches de Bagshot et de Bracklesham, en Angleterre, 126 se rencontrent dans le Calcaire Grossier de France. Ces couches se rapprochent donc, pour l'âge, beaucoup plus de cette partie de la série Parisienne que de toute autre.

COQUILLES MARINES DES COUCHES DE BRACKLESCHAMP.

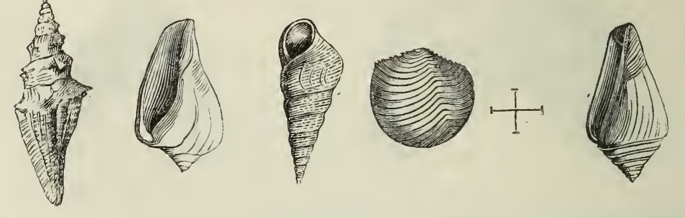


Fig. 244. *Pleurotoma attenuata*, Sow. Fig. 245. *Voluta Selseiensis*, Edwards. Fig. 246. *Turritella multisulcata*, Lam. Fig. 247. *Lucina serrata*, Dixon; grossie. Fig. 248. *Conus deperditus.*

VÉGÉTATION DE LA PÉRIODE DE L'ÉOCÈNE MOYEN.

A Alum-Bay dans l'île de Wight, et à Bournemouth, sur la côte occidentale du Hampshire, les plantes enfouies dans les argiles blanches de la série de l'Éocène moyen, présentent généralement une grande ressemblance avec celles de la période Miocène, que nous avons décrites dans le dernier chapitre; mais les espèces sont, à quelques exceptions près, tout à fait distinctes. MM. de la Harpe et Gaudin mentionnent quatre de ces espèces, parmi lesquelles abondent les *Protéacées* (*Dryandra*, etc.), la tribu des figuiers, le cinnamon, plusieurs autres laurinées et quel-

ques papilionacés. L'ensemble de ces végétaux rappelle au botaniste les types de l'Inde tropicale et de l'Australie (1).

Heer a mentionné plusieurs espèces qui sont communes à cette flore d'Alum-Bay et à celle de Monte Bolca, près de Vérone, localité si fameuse pour ses poissons fossiles et dont les couches renferment des nummulites et autres fossiles de l'Éocène Moyen (2). Le même auteur a particulièrement signalé les *Aralia primigenia*, De la Harpe; *Daphnogene Veronensis*, espèces Massalongo; *Ficus granadilla*, Mass. esp., comme étant des espèces communes à l'île de Wight, ainsi qu'aux lits de l'Éocène Italien, et caractéristiques de ces deux formations. Il fait observer, en outre, que ces formes d'un climat tempéré, telles que les saule, peuplier, bouleau, aune, orme, charme, chêne, sapin et pin, qui distinguent d'une manière tranchée les formations Miocènes de l'Europe, font complétement défaut dans la flore de cette période de l'Éocène. Les types Américains y sont également absents, ou bien plus faiblement représentés que dans la période Miocène. Le nombre des formes exotiques qui sont communes aux couches de l'Éocène et du Miocène d'Europe dénoterait à quelle époque reculée remonte la distribution géographique des plantes vivantes qui descendent de ces espèces. Les genres Éocènes ont disparu de nos climats tempérés en majeure partie, mais non en totalité, et doivent avoir exercé une certaine influence sur l'assemblage des espèces qui leur ont succédé. La plupart de ces genres sont si étroitement alliés à la flore qui a survécu jusqu'à ce jour, qu'on est en droit de se demander, même en partageant l'opinion des naturalistes opposés à la doctrine de transmutation, s'il n'existe pas des rapports généalogiques entre les plantes de ces deux périodes.

(1) Heer, *Climat et végétation du Pays Tertiaire*, p. 172.

(2) Pour les observations sur les roches du Monte Bolca, voir au-dessous, chap. XXXII.

FORMATIONS DE L'ÉOCÈNE INFÉRIEUR D'ANGLETERRE.

Argile propre de Londres (C. 1., Tableau, p. 447). — Cette formation vient au-dessous de la précédente et consiste en argile tenace, brune et gris bleuâtre, avec lits de concrétions appelées *septaria*, lesquels abondent principalement dans l'argile brune, et sont extraits en grande quantité des falaises des environs de Harwich et des bas-fonds de la côte d'Essex pour la fabrication du ciment romain. Les plus importantes localités à fossiles de l'Argile de Londres sont la colline de Highgate près de Londres, l'île de Sheppey et Bognor, Hampshire. Sur 133 coquilles fossiles, M. Prestwich en a trouvé 20 seulement communes au Calcaire Grossier (qui a fourni 600 espèces), tandis que 33 sont communes aux Lits Coquilliers (p. 481) dans lesquels on ne reconnaît en France que 200 espèces. On peut donc présumer que l'argile propre de Londres est plus ancienne que le Calcaire Grossier. Ceci éloignera peut-être une difficulté qu'a rencontrée M. Adolphe Brongniart lorsqu'il a voulu comparer la flore Éocène des environs de Londres à celle de Paris. Les espèces fossiles de l'île de Sheppey, observe ce savant, indiquent un climat plus tropical que la flore Éocène de France. Or cette derniere a été fournie principalement par la série gypseuse, ou de l'Éocène Supérieur, et ressemble à la végétation des bords de la Méditerranée plutôt qu'à celle d'une région équatoriale, tandis que la flore de Sheppey appartient à une époque antérieure, séparée de la période du gypse de Paris par tout le Calcaire Grossier et par la série de Bagshot, en un mot, par les équivalents de la grande série nummulitique des écrivains géologues du Continent.

Dans sa description des fruits et graines fossiles de l'île de Sheppey près de Londres, M. Bowerbank indique plus de treize fruits de palmier du type récent *Nipa*, lequel n'est connu aujourd'hui qu'aux îles Moluques, aux Philippines et dans le Bengale (fig. 249). Dans le delta du Gange,

le Docteur Hooker a observé de grosses noix du *Nipa fruticans*, flottant en nombre tel sur les différents bras de cette grande rivière, que les roues des bateaux à vapeur en étaient obstruées. Ces plantes sont alliées, d'un côté, à la tribu des cocotiers, et de l'autre au *Pandanus* (*Screw-Pine*). On rencontre encore dans l'argile de Sheppey des fruits de palmiers autres que ceux de la tribu des cocotiers, ainsi que trois espèces d'*Anona* ou corossol, et une grande abondance de fruits de cucurbitacées (famille des calebasses et melons), ainsi que différentes espèces d'*Acacia*. Ceux-ci, bien que ne portant pas le caractère tropical d'une manière aussi tranchée, impliquent cependant un climat chaud.



Fig. 249. — *Nipadites ellipticus*, Bow. Fruit fossile de palmier, Sheppey.

La contiguïté des terres peut être déduite non-seulement de ces productions végétales, mais encore des dents et des ossements de crocodiles et de tortues, car ces animaux, comme le fait remarquer Dean Conybeare, devaient aller à la côte pour déposer leurs œufs. On observe, dans la formation, de nombreuses espèces de tortues qui se rapportent à des genres éteints. La plupart n'égalent pas en grosseur les plus grandes tortues tropicales vivant de nos jours. Un serpent marin du genre *Palœophis* provenant de Sheppey, déjà cité (p. 458), qui devait atteindre plus de 3 mètres, a aussi été décrit par Owen, et comme espèce différente de celle de Bracklesham. Un crocodile proprement dit, *Crocodilus toliapicus*, et un autre saurien se rapprochant beaucoup plus du gavial, accompagnent ces fossiles ; on y rencontre aussi des débris de différents oiseaux et quadrupèdes. Parmi ces derniers on signale un nouveau genre, *Hyracotherium*, Owen, allié au cochon et au *Chœropotamus*. On cite un *Lophiodon* et un pachyderme appelé par Owen *Coryphodon eocœnus*, plus grand qu'aucun des tapirs actuels. Tous ces

animaux paraissent avoir habité les bords de la grande rivière dans laquelle flottaient les fruits de Sheppey. Ils impliquent une faune mammifère antérieure à la période où les Nummulites vivaient en Europe et en Asie, antérieure par conséquent au soulèvement des Alpes, des Pyrénées et des autres chaînes de montagnes qui forment les reliefs actuels des grands continents, antérieure même au temps où les masses rocheuses qui forment aujourd'hui l'axe de ces chaînes se déposèrent au sein des mers.

Dans l'Argile de Londres, les coquilles marines indiquent, comme les plantes et les reptiles, une température élevée; on y rencontre par exemple plusieurs espèces de *Conus* et de *Voluta*, une grande *Cyprœa* (*C. oviformis*), une très-grande *Rostellaria* (fig. 252), une espèce de *Cancellaria*, six espèces de *Nautilus* (fig. 254), et d'autres céphalopodes de genres éteints dont l'un des plus remarquables est le *Belosepia* (1) (fig. 255). Parmi les différentes coquilles bivalves caractéristiques on cite la *Leda amygdaloïdes* (fig. 256), le *Cryptodon angulatum* (fig. 257), et, parmi les rayonnés, une étoile de mer appelée *Astropecten* (fig. 258).

Avec ces fossiles, on trouve un Espadon (*Tetrapterus priscus*, Agassiz) d'environ 2 mètres de long et une Scie (*Pristis bisulcatus*, Agassiz) d'une longueur de 3 mètres à peu près, genres étrangers aujourd'hui aux mers Britanniques. En résumé, Agassiz a décrit plus de cinquante espèces de poissons appartenant à ces couches de Sheppey, et qui indiquent, suivant lui, un climat chaud.

(1) Pour la description des Céphalopodes Éocènes, voyez la *Monographie* par F-E. Edwards (*Palæontograph. Soc.*, 1849).

COQUILLES FOSSILES DE L'ARGILE DE LONDRES.



FIG. 250. — *Voluta nodosa*, Sow. Highgate.



FIG. 251. — *Phorus extensus*, Sow. Highgate.

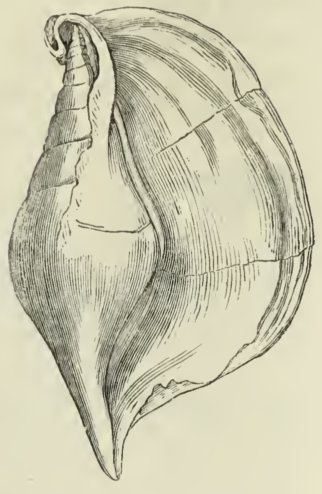


FIG. 252. — *Rostellaria ampla*, Brander ; un tiers de grandeur naturelle, On la rencontre aussi dans l'argile de Barton.

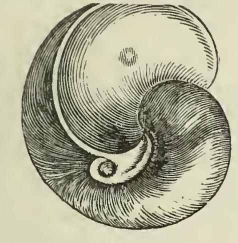


FIG. 253. — *Nautilus centralis*, Sow. Highgate.

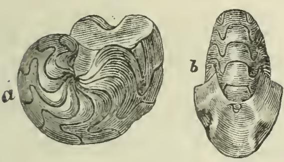


FIG. 254. — *Aturia ziczac*, Brown et Edwards. Syn. *Nautilus ziczac*. Sow. Argile de Londres, Sheppey.

FIG. 255. — *Belosepia sepioïdea*. De Blainv. Argile de Londres, Sheppey.

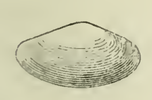


FIG. 256. — *Leda amygdaloides*, Highgate.



FIG. 257. — *Cryptodon angulatum*. Argile de Londres, Hornsea.



FIG. 258. — *Astropecten crispatus*, E. Forbes, Sheppey.

Couches de Kyson en Suffolk. — A Kyson, à quelques kilomètres à l'est de Woodbridge, le Crag Rouge recouvre une grande couche d'Argile Éocène de 3^{m},60 d'épaisseur.

Plus bas est un dépôt de sable jaune et blanc dont les fossiles offrent un grand intérêt, et qui constitue probablement la partie inférieure de l'Argile propre de Londres. Ce sable a fourni, outre de nombreuses dents de squales, un Opossum (*Didelphys*) (fig. 259), et une chauve-souris insectivore (fig. 260). M. Colchester a ajouté, en 1840, d'autres




FIG. 259. — Molaire et portion de mâchoire d'Opossum, de Kyson (1).




FIG. 260. — Molaires de chauve-souris insectivore : double de grandeur naturelle, de Kyson, Suffolk.




FIG. 261. — Molaire de *Hyracotherium*.

debris mammifères provenant de la même localité, parmi lesquels M. Owen a reconnu des dents du genre *Hyracotherium* (fig. 261), et des vertèbres d'un grand serpent, probablement d'un *Palæophis*. Ces deux derniers genres ont été signalés aussi dans l'Argile de Londres, et confirment cette opinion que le sable de Kyson appartient à la période Éocène.

En 1840, une mâchoire fossile avec dents, obtenue dans le même lit, avait été rapportée par Owen, à un singe appelé *Macacus eocœnus*, et plus tard *Eopithecus ;* mais ce savant a depuis rétracté cette opinion (1862), et a déclaré, sur nouvel examen basé sur les matériaux plus nombreux qu'il a pu se procurer, que cette mâchoire appartient à un *Hyracotherium*. Il n'y a, par conséquent, jusqu'à ce jour, à la connaissance des paléontologues, aucun singe Éocène, à moins que M. Rütimeyer n'ait raison de rapporter à cette famille un petit fragment de mâchoire avec trois molaires, trouvé dans les couches de l'Éocène Supérieur du Jura Suisse.

Argiles plastiques ou à modeler et Sables (C. 2, p. 447). — Les argiles dites plastiques que l'on rencontre immédia-

(1) *Ann. of nat. Hist.*, vol. IV, n° 23, nov. 1839.

tement au-dessous de l'Argile de Londres doivent ce nom, en France, à l'usage que l'on en fait pour la poterie. On exploite dans le même but, en Angleterre, des couches d'âge identique (séries de Woolwich et de Reading, de Prestwich) (1).

Nulles formations ne diffèrent plus entre elles, dans l'ensemble de leurs caractères minéralogiques, que les dépôts Éocènes de l'Angleterre et de Paris : les premiers, presque tous d'origine mécanique, sont formés de limon, de sable et de cailloux ; les seconds offrent, au contraire, une nombreuse succession de calcaires parfois siliceux, de gypses cristallins, de grès siliceux et quelquefois de silex purs employés comme pierre à moudre. Il est donc assez difficile d'établir une comparaison exacte entre les différents membres des séries Anglaise et Française, aussi bien que de déterminer leur âge respectif. Évidemment, les bassins de Paris et de Londres ont éprouvé dans leur faune et leur flore des changements successifs résultant de l'apparition de nouvelles espèces et de l'extinction d'espèces préexistantes ; des modifications dans les conditions géographiques ont dû se produire en même temps par l'exhaussement et l'abaissement des terres et du fond des mers. Telle période de temps particulière fut donc représentée sur certain point par un continent, sur tel autre par un estuaire, sur un troisième par la mer ; et là même où les formations des deux pays offrent également le caractère marin, les différences de niveau doivent avoir souvent modifié le développement de la vie animale.

Toutefois, la division de la série Éocène dont il s'agit en ce moment fait exception à la règle générale ; car partout, dans les bassins de Londres et du Hampshire comme dans celui de Paris, elle présente le même caractère minéralogique. On comprendra cette uniformité d'aspect, si l'on songe que les lits sont composés uniquement de sables, d'ar-

(1) Prestwich, *Waterbearing Strata of London*, 1851.

giles à modeler, de lignite, de silex roulés provenant de la craie, et dont la grosseur varie de celle d'un pois à celle d'un œuf. Dans l'île de Wight, ces lits sont en contact avec la craie, comme dans le bassin de Londres, à Reading, à Blackheath et à Woolwich. Dans quelques-uns, tout à fait inférieurs, on rencontre par bancs l'*Ostræa bellovacina*, si commune en France dans la même position relative, et l'*Ostræa edulina*, difficile à distinguer de l'espèce comestible vivante. Dans les mêmes lits, à Bromley, le Docteur Buckland a trouvé un gros galet auquel adhéraient cinq huîtres parfaitement développées, lesquelles, évidemment, avaient pris naissance sur le galet et y étaient restées jusqu'au moment de leur enfouissement.

En plusieurs endroits, tels qu'à Woolwich sur la Tamise, à Newhaven, Sussex, etc., un mélange de testacés marins et d'eau douce caractérise ce membre de la série. Les coquilles d'eau douce sont représentées par la *Melania inquinata*

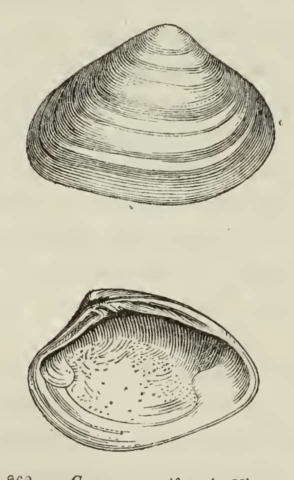


FIG. 262. — *Cyrena cuneiformis*, Min. Con. Grandeur naturelle.



FIG. 263. — *Melania inquinata*, Desh. Grandeur naturelle. — Syn. *Cerithium melanoïdes*, Min. Con.

(fig. 263) et la *Cyrena cuneiformis* (fig. 262), très-communes également dans les couches du même âge en France; elles

indiquent des embouchures de rivières dans la mer Éocène. On observe habituellement un mélange de coquilles d'eau saumâtre, d'eau douce et marine, et quelquefois, comme à Woolwich, on acquiert la preuve que la rivière et la mer ont successivement occupé le même point. A New-Charlton, aux portes mêmes de Woolwich, M. de la Condamine a découvert, en 1849, et m'a fait examiner une couche de sable mélangé de galets siliceux parfaitement arrondis, et dans laquelle se trouvaient de nombreux individus de l'espèce *Cyrena tellinella* avec leurs deux valves réunies et l'extrémité postérieure de chaque coquille tournée vers le haut, comme si les mollusques fussent morts dans leur position naturelle. J'ai décrit (1) un banc analogue de limon sableux dans le delta de la rivière Alabama, à Mobile, sur les bords du golfe du Mexique ; à basses eaux, j'en ai retiré par la drague des espèces vivantes de *Cyrena* et un *Gnathodon* dont les coquilles étaient debout, c'est-à-dire dans une situation qui permettait à l'animal de tendre son siphon et d'aspirer ou de rejeter l'eau à volonté. A Mobile, l'eau, ordinairement douce, est quelquefois saumâtre. A Woolwich, une rivière a dû couler vers la mer d'une manière permanente, pendant que les *Cyrenæ* vivaient, et celles-ci durent périr subitement par un afflux d'eau salée qui envahit les bas-fonds ou les points sur lesquesl un abaissement avait lieu. Suivies dans leur direction du côté de l'E. vers Herne-Bay, les couches de Woolwich prennent un caractère de plus en plus marin; tandis qu'au S.-O., comme à Chelsea, elles acquièrent un caractère d'eau douce plus prononcé, et contiennent des *Unio*, *Paludina*, ainsi que des bancs de lignite. Un continent arrosé par des rivières aurait donc existé anciennement vers le S.-O. de la métropole actuelle.

Avant que les géologues se fussent familiarisés avec la théorie de l'abaissement graduel du sol, de sa conversion

(1) *Second Visit to the United States*, vol. II, p. 104.

en fond de mer à différentes périodes, et, comme conséquence, de la transformation des eaux basses en eaux profondes, le caractère d'eau douce et littoral de ce groupe inférieur paraissait étrange et anormal. Si l'on traverse sur quelques centaines de mètres l'Argile de Londres, dépôt formé, comme le prouvent ses fossiles, dans une eau salée profonde, on arrive à des couches d'origine fluviatile où l'on rencontre des amas de cailloux qui atteignent, à Blackheath près de Londres, une épaisseur de 15 mètres, et indiquent ainsi le voisinage d'une terre où les silex de la craie auraient été roulés à l'état de sable et de galets, et se seraient répandus sans discontinuité sur de larges espaces. On trouve toujours de semblables cailloux vers le bas de la série, dans l'île de Wight, comme dans les bassins du Hampshire ou de Londres. On peut se demander s'ils ne seraient pas simplement d'étroites zones littorales analogues à celles que présentent les anciennes plages marines. A cette question M. Prestwich répond que les zones de cailloux ont pu se former lentement sur une large échelle à l'époque des sables de Thanet (C. 3, p. 447), et que, lorsque le sol vint à baisser, les galets arrondis auront été dispersés simultanément sur des surfaces considérables et exposés pendant la submersion graduelle à l'action des vagues de la mer, aidée quelquefois par le flux et le reflux, et par les inondations des rivières.

Sables de Thanet (C. 3, p. 447). — On voit souvent l'argile plastique, ou argile à modeler de l'île de Wight et du Hampshire, en contact avec la craie et constituant le membre inférieur de la série Éocène d'Angleterre. Mais, ailleurs, une autre formation d'origine marine, caractérisée par un ensemble un peu différent de débris organiques, vient se placer, comme M. Prestwich l'a démontré, entre la craie et la série de Woolwich. Ce géologue a proposé pour cette formation le nom de *Sables de Thanet*, parce qu'elle se montre très-nettement dans l'île de Thanet, partie septentrionale du Kent, et sur la côte de la mer, entre Herne-Bay et les Re-

culvers, où elle consiste en sables parfois concrétionnés. Entre autres fossiles, elle contient les *Pholadomya cuneata*, *Cyprina Morrisii*, *Corbula longirostris*, *Scalaria Bowerbankii*, etc. Sa plus grande épaisseur est d'environ 27 mètres.

TABLEAU GÉNÉRAL DES COUCHES ÉOCÈNES DE FRANCE

ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.

Sous-divisions françaises.	Équivalents anglais.
A. 1. Série gypseuse de Montmartre.	1. Série de Bembridge, p. 447.
A. 2. Calcaire siliceux ou travertin Inférieur.	2. Série d'Osborne et de Headon, p. 451.
A. 3. Grès de Beauchamp ou Sables Moyens.	3. Sable blanc et argile de Barton Cliff, Hants.

ÉOCÈNE MOYEN.

B. 1. Calcaire Grossier.	1. Lits de Bagshot et de Bracklesham.
B. 2. Sables Soissonnais ou Lits Coquilliers.	2. Manquent.

ÉOCÈNE INFÉRIEUR.

C. 1. Argile de Londres, à la base de la colline de Cassel, près Dunkirk.	1. Argile de Londres.
C. 2. Argile plastique et lignite.	2. Argile plastique et sable avec lignite (séries de Woolwich et de Reading.)
C. 3. Sables de Bracheux.	3. Sables de Thanet.

Les formations tertiaires des environs de Paris consistent en une série de couches marines et d'eau douce alternant entre elles et remplissant une dépression de la craie. La surface qu'elles occupent a reçu le nom de bassin de Paris ; elle s'étend sur environ 290 kilomètres de longueur du nord au sud, et 145 kilomètres de largeur de l'est à l'ouest (*Voir* la carte, p. 354).

En 1810, MM. Cuvier et Brongniart ont distingué cinq groupes différents, dont trois d'eau douce et deux marins ; cette division impliquait pour eux qu'une mer, des rivières et des lacs avaient successivement occupé et abandonné

la même surface. Des recherches ultérieurement faites dans les bassins du Hampshire et de Londres ont confirmé cette opinion, ou démontré tout au moins que, depuis le commencement de la période Éocène, il s'était produit dans le lit de la mer et dans les continents voisins des mouvements considérables qui pouvaient seuls rendre compte de la superposition des dépôts de mer profonde à ceux d'eaux basses (l'Argile de Londres, par exemple, aux couches de Woolwich). Néanmoins, d'après les recherches de M. Constant Prévost, quelques mélanges et alternances les moins considérables de dépôts d'eau douce et marins du bassin de Paris ne pourrient être expliqués que par l'action simultanée des deux causes dans la même baie d'une seule mer, ou dans un golfe unique où plusieurs rivières venaient affluer.

Série gypseuse de Montmartre. — Sans entrer dans le détail des nombreuses sous-divisions des couches Parisiennes, je me bornerai à donner quelques exemples des formations les plus importantes déjà énumérées dans le tableau, p. 471.

Au-dessous du Grès de Fontainebleau, ou *Sables marins supérieurs*, appartenant au Miocène Inférieur, comme nous l'avons établi, on rencontre, dans les environs de Paris, une série de marnes blanches et vertes avec couches subordonnées de gypse, A., Tableau, p. 471. Ces couches sont plus largement développées dans les parties centrales du bassin, et, entre autres endroits, dans la colline de Montmartre, où les fossiles qu'elles contiennent ont été pour la première fois étudiés par Cuvier.

Le gypse que l'on exploite sur ce point pour la fabrication du plâtre de Paris forme une roche cristalline grenue, et, comme les marnes qui lui sont associées, il contient des coquilles terrestres et fluviatiles avec des os et des squelettes d'oiseaux et de quadrupèdes. On y rencontre aussi diverses plantes terrestres parmi lesquelles de beaux échantillons de la tribu des palmiers-éventail ou palmetti (*Flabellaria*), ainsi que des débris de poissons d'eau douce, de crocodiles et

d'autres reptiles. Les squelettes de mammifères y sont ordinairement isolés, parfois entiers ; les extrémités les plus délicates en sont bien conservées, comme si les animaux enveloppés de leur peau et de leurs chairs fussent tombés au fond de l'eau aussitôt après leur mort et pendant que les gaz produits par leur première décomposition gonflaient encore leurs cadavres. Les quelques coquilles qui accompagnent ces fossiles sont de ces espèces légères qui flottent avec les bois à la surface des rivières.

M. Prévost a pensé que des rivières avaient pu entraîner au loin les animaux et les plantes qui vivaient sur les bords ou dans les lacs qu'elles traversaient, et déposer ces débris au centre d'un golfe où arrivaient des eaux imprégnées de sulfate de chaux. Nous savons que le Fiume Salso, en Sicile, entre à la mer tellement chargé de sels de différente nature, que les bestiaux refusent de s'y abreuver. Un ruisseau d'eau sulfureuse aussi blanche que du lait descend à la mer de la montagne volcanique d'Idienne, à l'est de Java ; à une certaine époque, un torrent d'eau chaude chargée d'acide sulfurique s'échappa du même volcan, inonda et détruisit la végétation sur une vaste étendue de pays (1). De même, le Pusanibio ou Vinegar River, en Colombie, qui sourd au pied du Puracé, volcan éteint situé à plus de 700 mètres au-dessus du niveau de la mer, roule des eaux fortement imprégnées d'acide sulfurique, d'acide chlorhydrique et d'oxyde de fer. Admettons des rivières de cette espèce, infectées de propriétés nuisibles aux animaux qui vivent dans la mer, et nous expliquerons ainsi l'absence totale de débris marins dans le gypse à ossements (2). Cette roche ne contient ni cailloux roulés ni sable grossier, circonstance qui s'accorde bien avec l'hypothèse qu'elle serait le résultat d'une précipitation opérée dans une eau chargée de sulfate de chaux en dissolution et transportant des restes d'animaux.

(1) *Leyde Magaz. voor Wetensch Konst en Lett.*, partie V, cahier 1, p. 71, cité par Rozet, *Journ. de Géol.*, t. I, p. 43.

(2) M. C. Prévost, *Submersions itératives*, etc., note 23.

On a trouvé dans cette formation les débris d'environ cinquante espèces de quadrupèdes, parmi lesquels figurent les genres *Palæotherium* (fig. 220), *Anoplotherium* (fig. 219), et autres, tous éteints; près des quatre cinquièmes appartiennent au Périssodactyle ou division de l'ordre des pachydermes qui n'est plus aujourd'hui représentée que par quatre espèces: le rhinocéros, le tapir, le cheval et le daman. On cite aussi quelques carnivores, entre autres l'*Hyænodon dasyuroïdes*, une espèce de chien (*Canis parisiensis*) et une belette (*Cynodon parisiensis*). L'ordre des *Rongeurs* fournit un écureuil, et celui des *Insectivores* une chauve-souris; les *Marsupiaux*, qu'on ne rencontre aujourd'hui vivants qu'en Amérique, en Australie et dans quelques îles voisines, n'y figurent que par un *Opossum*.

Les oiseaux présentent environ dix espèces, la plupart avec squelettes entiers; mais aucune d'elles ne peut être rapportée aux espèces vivantes (1). La même remarque s'applique, suivant MM. Cuvier et Agassiz, aux poissons et aux reptiles. Parmi ces derniers on rencontre des crocodiles et des tortues des genres *Emys* et *Trionyx*.

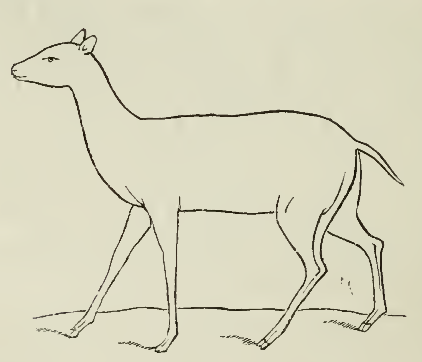


FIG. 264. — *Xiphodon gracile*, ou *Anoplotherium gracile*, Cuvier. Contour restauré.

Les quadrupèdes terrestres qui abondent dans cette formation étaient de ceux qui habitent les plaines alluviales et les marais, les bords des rivières et des lacs, et sont, conséquemment, plus exposés à périr dans les inondations. On remarque parmi eux différentes espèces du genre *Palæotherium* (fig. 281), ainsi que des *Anoplotherium*, tribu

(1) Cuvier, *Ossements fossiles*, t. III, p. 255.

qui se place entre les pachydermes et les ruminants. Cuvier a donné le nom de *Xiphodon* à l'une des trois divisions de cette famille. C'étaient des animaux à formes minces et élégantes: l'une des espèces, le *Xiphodon gracile* (fig. 264), avait à peu près la taille du chamois; l'inspection du squelette a fait dire à Cuvier que cet animal devait être aussi léger, aussi gracieux et aussi agile que la gazelle.

Quand l'ostéologiste Français déclara, au commencement de ce siècle, que tous les quadrupèdes fossiles du gypse de Paris étaient de races éteintes, cette énonciation de la part d'une autorité aussi éminente produisit une vive sensation, et, à dater de cette époque, une nouvelle impulsion fut donnée en Europe aux progrès des recherches géologiques. De savants naturalistes avaient, il est vrai, précédemment avancé que les coquilles et les zoophytes des roches anciennes en Europe appartenaient à des races qui n'existaient plus; mais la majorité des gens instruits avait continué de croire que les espèces d'animaux et de plantes aujourd'hui contemporaines de l'homme avaient été créées dès le principe avec la terre même. Il était facile alors de combattre la nouvelle doctrine, car on découvrait à chaque instant des coraux, des coquilles ou d'autres créatures inconnues jusque-là, et l'on pouvait demander pourquoi des mers encore inexplorées ne fourniraient pas des formes vivantes semblables aux formes fossiles. Mais, depuis la publication des *Ossements fossiles* de Cuvier, et surtout depuis son traité populaire intitulé *Théorie de la terre*, des vues plus étendues commencèrent à prévaloir. Il fut clairement démontré que la plus grande partie des mammifères trouvés dans le gypse de Montmartre différaient, même génériquement, de tous ceux connus aujourd'hui, et il devint manifeste qu'aucun d'eux, surtout des plus grands, ne pouvait exister vivant même sur des continents inexplorés. L'absence de toute espèce actuelle, dans une faune fossile aussi riche, fournit une preuve frappante que le sol habité jadis n'avait aucun rapport zoologique avec l'état présent.

Empreintes de pas fossiles. — On compte, dans les environs de Paris, trois masses superposées de gypse, que séparent des dépôts intercalés de marnes feuilletées. Dans la masse supérieure située dans la vallée de Montmorency, M. Desnoyers a découvert, en 1859, de nombreuses empreintes de pas d'animaux, à six niveaux différents (1). Le gypse qui les porte varie en épaisseur de 9 à 15 mètres, et forme la couche qui a fourni au naturaliste le plus grand nombre d'ossements et de squelettes de mammifères, d'oiseaux et de reptiles. Je visitai avec M. Desnoyers, ces carrières aussitôt après leur découverte, et ce savant me montra au Muséum de Paris de larges plaques, où l'on voyait, sur le plan supérieur de stratification, des empreintes de pied en creux, tandis que les moules correspondants apparaissaient en relief sur les surfaces inférieures des couches de gypse immédiatement superposées. Une petite veine de marne qui, avant d'avoir été desséchée et comprimée par la pression, devait représenter une couche plus épaisse de limon mou, séparait les lits de gypse solide. L'animal a dû marcher sur ce limon, et former des empreintes qui ont pénétré la masse gypseuse au-dessous, évidemment non consolidée. Parmi les empreintes de différentes grandeurs, signalées par M. Desnoyers, les unes sont bisulquées et peuvent se rapporter aux Anoplotherium ; d'autres trilobées rappellent le pied du Paleotherium, et correspondent aux parties analogues de plusieurs espèces appartenant aux genres que Cuvier a reconstruits ; d'autres empreintes paraissent appartenir à des mammifères carnassiers. Il en est qui révèlent l'existence de tortues fluviatiles, lacustres et terrestres (*Emys*, *Trionyx*, etc.) ; et celle aussi des crocodiles, des iguanes, des geckos, et de grands batraciens. On y remarque enfin la trace d'un oiseau énorme, un échassier apparemment, de la taille du *Gastornensis*, dont il sera parlé

(1) *Sur des empreintes de pas d'animaux*, par M. J. Desnoyers. *Compte rendu de l'Institut*, 1859.

dans la suite. On y distingue également des empreintes du pied d'autres animaux, parfaitement distincts pour la plupart des cinquante types éteints de mammifères, dont on a trouvé les ossements dans le gypse de Paris. Tout l'ensemble indique, suivant Desnoyers, la présence d'un lac ou de plusieurs lacs communiquant entre eux, sur les bords desquels vivaient des Pachydermes et des bêtes de proie qui les dévoraient dans l'occasion. Les paléontologues avaient déjà découvert la marque des dents de ces derniers sur les os et les crânes des *Paléothères* ensevelis dans le gypse.

Ces empreintes de pas nous ont révélé par des preuves nouvelles et inattendues que la faune respirant à l'air libre de l'Éocène Supérieur d'Europe, surpassait en nombre et en variété les espèces estimées d'abord les plus grandes qui eussent été formées durant cette période. On est maintenant assuré que les mammifères, reptiles et oiseaux qui ont laissé des portions de leurs squelettes en souvenir de leur existence dans le gypse solide, ne constituaient qu'une partie de la création vivant à cette époque. On peut conclure de même de l'étude de la succession entière des monuments géologiques, qui, pour les périodes embrassant mille ans, et dans certains cas probablement des millions d'années, font complétement défaut dans chaque district; volumes considérables où manque le plus grand nombre de pages sur une région donnée, et qui, retrouvées, ne donnent par hasard que les titres tronqués des événements physiques ou des êtres vivants qui se rapportent à cette époque. On remarquera également que les formations subordonnées des deux pays voisins, la France et l'Angleterre (petits groupes tertiaires ci-dessus mentionnés), bien que considérées généralement comme équivalentes et comme se rapportant à des périodes correspondantes, peuvent très-bien ne pas être exactement de la même date. On les qualifie de contemporaines, mais il est probable qu'elles ont été souvent séparées par des intervalles de centaines et de milliers d'années. On

pourrait les comparer à des étoiles doubles, qui paraissent simples à l'œil nu parce qu'elles sont dans le firmament à une distance immense de nous, et qui appartiennent en réalité à un seul et même système stellaire, bien qu'occupant dans l'espace des points que nos moyens ordinaires de mesurer nous font prendre pour très-éloignés.

Calcaire siliceux ou Travertin Inférieur (A. 2, p. 471). — Le calcaire siliceux compacte s'étend sur une vaste surface. Il ressemble au précipité que laissent déposer les sources minérales, et présente souvent un grand nombre de petites cavités irrégulières. Bien que généralement dépourvu de débris organiques, il contient sur certains points des espèces d'eau douce et des espèces terrestres, mais jamais de fossiles marins. Le calcaire siliceux et le calcaire grossier occupent ordinairement, dans le bassin de Paris, des espaces séparés; où celui-ci atteint son développement complet, celui-là ne montre que sa plus faible épaisseur. Quelques auteurs ont décrit ces dépôts comme alternant entre eux vers le centre du bassin, à Sergy et à Osny, par exemple.

Le gypse, avec ses marnes associées décrites ci-dessus, présente une puissance plus considérable vers le centre du bassin, où le calcaire grossier et le calcaire siliceux sont moins complétement développés.

Grès de Beauchamp ou sables moyens (A. 3, p. 471). — Dans quelques parties du bassin de Paris, des marnes et sables appelés Grès de Beauchamp ou *Sables moyens*, séparent les lits gypseux du calcaire grossier proprement dit. Ces sables, dans lesquels abonde une petite nummulite (*N. Variolaria*), contiennent plus de 300 espèces de coquilles marines, quelques-unes particulières, et les autres communes à la division suivante.

Calcaire grossier, supérieur et moyen (B. 1, p. 471). — La division supérieure de ce groupe se compose en majeure partie de calcaire compacte et fragile, avec des marnes vertes intercalées. Sur quelques points, les co-

quilles offrent un mélange de *Cerithium*, *Cyclostoma* et *Corbula;* sur d'autres, de *Limnea*, *Cerithium*, *Paludina*, etc. Avec ces dernières on a trouvé des os de reptiles, et les mammifères *Paleotherium* et *Lophiodon*. La division moyenne, ou calcaire grossier proprement dit, présente une structure grossière et passe souvent au sable. C'est elle qui contient le plus grand nombre de coquilles fossiles caractéristiques du bassin de Paris. On a pu extraire d'un seul endroit, près de Grignon, plus de 400 espèces gisant dans une couche de sable calcaire presque entièrement formée de coquilles brisées, parmi lesquelles on distingue, mêlées ensemble et dans un état de conservation parfaite, des espèces marines, terrestres et d'eau douce. Il est possible que les coquilles marines aient vécu dans l'endroit même où on les rencontre aujourd'hui, mais les *Cyclostoma* et *Limnea* doivent y avoir été apportés par des rivières ou des courants, et la quantité de débris triturés dénote que le mouvement des eaux était considérable.

Rien n'est plus frappant dans cet assemblage de testacés fossiles que la grande proportion des espèces qui se rapportent au genre *Cerithium* (fig. 173, p. 383). On n'en compte pas moins de 137 dans le bassin de Paris, presque toutes dans le calcaire grossier. La plupart des Cérithes vivantes habitent la mer, près de l'embouchure des rivières, là où l'eau est saumâtre; la quantité qu'on en trouve dans le terrain marin dont nous parlons, s'accorde donc avec l'hypothèse que le bassin de Paris aurait formé jadis un golfe dans lequel plusieurs rivières apportaient le tribut de leurs eaux.

Sur quelques points du Calcaire Grossier de Paris on rencontre une pierre propre à bâtir et que les géologues français ont nommée *Calcaire à Miliolites*. Elle est presque entièrement composée de millions de coquilles microscopiques, de la grosseur de petits grains de sable, et qui appartiennent à l'ordre des Foraminifères (voir les figures ci-dessous). Comme cette pierre miliolitique ne se rencontre

FORAMINIFÈRES ÉOCÈNES.

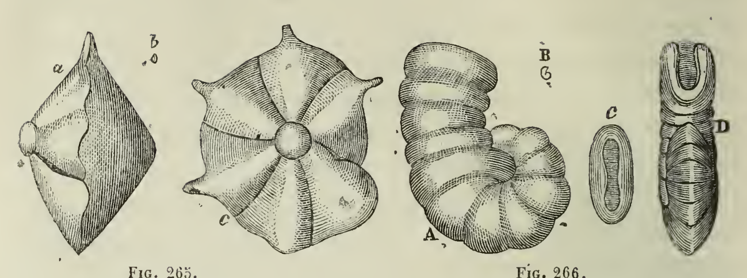


FIG. 265.
Calcarina rarispina, Desh. *b.* Grandeur naturelle. — *a, c.* La même, grossie.

FIG. 266.
Spirolina stenostoma, Desh. B. Grandeur naturelle. — A, C, D. La même, grossie.

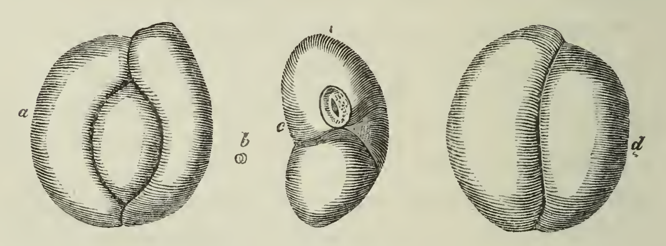


FIG. 267. — *Triloculina inflata*, Desh.
b. Grandeur naturelle. — *a, c, d.* La même, grossie.

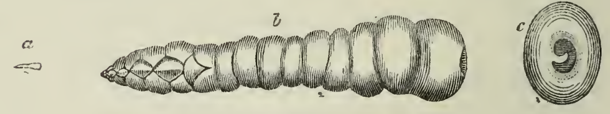


FIG. 268. — *Clavulina corrugata*, Desh.
a. Grandeur naturelle. — *b, c.* La même, grossie.

jamais dans les Faluns ou dans les couches du Miocène Supérieur de la Bretagne et de la Touraine, elle sert à distinguer les formations Éocènes et Miocènes répandues çà et là dans ces provinces et dans celles qui les avoisinent. La découverte de débris de Paléothériums et d'autres mammifères dans quelques-uns des lits supérieurs du Calcaire Grossier démontre que ces animaux terrestres ont vécu avant la formation des dépôts gypseux dont la série est au-dessus.

Calcaire Grossier inférieur ou Glauconie Grossière (B. 1, p. 471). — La portion inférieure du Calcaire Grossier, qui contient souvent une grande quantité de terre verte, est caractérisée à Auvers près de Pontoise, au nord de Paris, et plus encore dans les environs de Compiègne, par l'abondance de nummulites, spécialement des *N. lævigata*, *N. scabra* et *N. Lamarcki;* ces fossiles composent en grande partie quelques-uns des lits pierreux, bien qu'ils ne se rencontrent point dans les couches de même âge aux environs immédiats de Paris.

Sables du Soissonnais ou lits coquilliers (B. 2, p. 471). — Au-dessous de la formation précédente, on observe des sables remplis de coquilles sur une épaisseur considérable, surtout à Cuisse-la-Motte, près de Compiègne, et dans d'autres localités du Soissonnais, à environ 80 kilo-

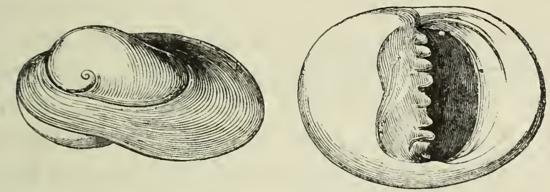


Fig. 269. — *Nerita conoïdea*, Lam. — Syn. *N. Schemidelliana,* Chemnitz.

mètres N.-E. de Paris ; on y a découvert près de 300 espèces dont la plupart sont communes au Calcaire Grossier et aux couches de Bracklesham en Angleterre ; quelques-unes sont particulières au dépôt. La *Nummulites planulata* y abonde ; mais la coquille la plus caractéristique est la *Nerita conoïdea*, Lam. Ce dernier fossile occupe une très-large étendue géographique, car, suivant la remarque de M. d'Archiac, il accompagne la formation nummulitique depuis l'Europe jusqu'aux Indes, où on l'a trouvé à Cutch, près de l'embouchure de l'Indus, en même temps que la *Nummulites scabra*. Parmi les coquilles de ce groupe, 33 au moins paraissent identiques avec celles de la Craie de Londres. Après avoir visité Cuisse-la-Motte et d'autres loca-

lités des *Sables inférieurs* (d'Archiac), j'ai conclu avec M. Prestwich que ces formations sont probablement plus nouvelles que l'Argile de Londres et peut-être plus anciennes que les couches de Bracklesham en Angleterre. Si l'Argile de Londres est représentée en France par ces sables, c'est tout au plus d'une manière partielle (1). M. Deshayes a donné le *Cardium porulosum* provenant des lits sableux du Soissonnais, comme exemple des changements qui s'opèrent dans certaines espèces pendant les phases successives de leur existence. Il paraîtrait que diverses variétés du *Cardium porulosum* caractérisent des formations différentes. Dans le Soissonnais, cette coquille n'atteint qu'un petit volume et se distingue par plusieurs particularités qui disparaissent dans les lits inférieurs du Calcaire Grossier. Dans ceux-ci, elle arrive à sa grosseur totale, et prend des caractères qui se modifient de nouveau dans les couches supérieures du Calcaire Grossier ; ces derniers changements de forme se maintiennent ensuite à travers la série *Marine Supérieure* ou Miocène Inférieur (2).

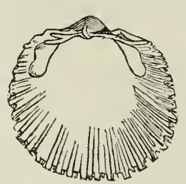
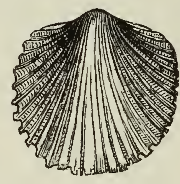



FIG. 270. — *Cardium porulosum.* Bassins de Londres et de Paris.

FORMATIONS DE L'ÉOCÈNE INFÉRIEUR DE FRANCE.

Argile plastique (C. 2, p. 471). — A la base du système tertiaire en France, se trouvent d'immenses dépôts de sables entremêlés parfois de couches d'argile nommée *Argile plastique* que l'on emploie pour la poterie. Des huîtres fossiles (*Ostræa bellovacina*) abondent sur quelques points de

(1) D'Archiac, *Bulletin,* t. X ; et Prestwich, *Geol. Quart. Journ.*, 1847, p. 377.
(2) Coquilles caractéristiques des Terrains, 1831.

ce dépôt ; on trouve ailleurs des coquilles fluviatiles comme les *Cyrena cuneiformis* (fig. 262, p. 468), *Melania inquinata* (fig. 263), etc., communes aux couches qui occupent la même position dans la vallée de la Tamise. Des filets de lignite accompagnent les argiles et sables inférieurs.

Immédiatement au-dessus de la craie qui forme le fond de tout terrain tertiaire en France, on observe généralement un conglomérat ou brèche de silex roulés, anguleux et cimentés par un sable siliceux. Ce conglomérat paraît d'origine littorale et indique les profondes dénudations que la craie a subies. Dans l'année 1855, on trouva à Meudon, près de Paris, à la base de l'argile plastique, le tibia et le fémur d'un grand oiseau dont la taille égalait au moins celle de l'autruche. Cet oiseau, auquel on a donné le nom de *Gastornensis Parisiensis*, paraît appartenir, d'après les mémoires de MM. Hébert, Lartet et Owen, à un genre éteint. Le Professeur Owen le rattache à l'ordre des échassiers, oiseaux terrestres, plutôt qu'à une espèce aquatique (1).

La formation, si exploitée pour les usages industriels, de l'argile plastique de Paris et des argiles et sables de Londres, n'avait cependant fourni, jusqu'en 1855, aucun vestige de bipède ailé. Cette découverte nous apprend combien il faut apporter de soins dans toutes les recherches et interprétations ostéologiques relatives aux oiseaux de ces périodes anciennes, avant que leur existence soit constatée par des preuves plus décisives que la simple empreinte de leurs pas.

Sables de Bracheux (C. 3, p. 471). — Les sables marins, appelés *sables* de Bracheux, localité située près de Beauvais, sont considérés par M. Hébert comme plus anciens que les lignites et l'argile plastique ; ils coïncideraient en âge, suivant lui, avec les sables de Thanet, en Angleterre. A la Fère, département de l'Aisne, on a trouvé, dans un dépôt de cet âge, le crâne fossile d'un quadrupède que Blainville

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. XII, p. 204, 1858.

appela *Arctocyon primævus*, et qu'il supposa se rattacher à l'ours et au kinkajou (*Cercoleptes*). Ce dernier animal paraît être le plus ancien des mammifères connus dans les couches tertiaires.

Formation nummulitique en Europe, en Asie, etc. — Lorsqu'en 1851, je visitai la Belgique et les Flandres Françaises pour comparer les couches tertiaires de ces pays avec les séries de l'Angleterre, je trouvai que tous les lits compris entre les formations du Miocène Inférieur ou du Limbourg et l'Éocène Inférieur ou Argile propre de Londres, pouvaient être parfaitement divisés en trois sections présentant, entre autres caractères paléontologiques, trois espèces particulières de nummulites : *N. variolaria* dans les couches supérieures, *N. lævigata* dans les couches moyennes, et *N. planulata* dans les couches inférieures. J'avais adopté cette classification lorsque je m'aperçus que la superposition dans le même ordre de ces trois espèces avait été précédemment reconnue par M. d'Archiac, en 1842, dans le nord de la France. Le même auteur, dans une récente monographie, publiée en 1853 (1), montre qu'un ordre à peu près semblable dans la distribution des mêmes espèces et de plusieurs autres existe au sud de la France et dans les Pyrénées, ainsi que dans les Alpes, les Apennins et l'Istrie. Les couches nummulitiques moyennes sont caractérisées par des espèces plus nombreuses et plus grandes, et les couches supérieures et inférieures par de plus petites espèces.

M. d'Archiac, dans le traité en question, ne décrit pas moins de cinquante-deux espèces du genre *Nummulites*, et il les considère comme étant toutes caractéristiques de ces couches tertiaires auxquelles j'ai donné le nom d'Éocène moyen. Dans quelques cas rares, certaines d'entre elles s'écartent de ces limites étroites au sein des formations tertiaires soit supérieures, soit inférieures, et à part une ou deux espèces, dont la *Nummulites intermedia*, qui appartient

(1) Animaux foss. du groupe nummul. de l'Inde. Paris, 1853.

aussi à l'Éocène Moyen, fournit un exemple, et monte aussi haut que le Miocène Inférieur, il est douteux qu'aucune d'elles descende aussi bas que l'argile de Londres. On n'en a certainement jamais rencontré, à la profondeur des couches marines contemporaines de l'argile plastique ou du lignite, dans aucun des pays où la géologie a été sérieusement étudiée. Cette conclusion est le résultat très-inattendu de recherches récentes ; car depuis plusieurs années on agitait la question de savoir si les roches nummulitiques des Alpes et des Pyrénées ne devaient pas être plutôt considérées comme crétacées que comme Éocènes. Feu Alex. Brongniart signala le premier l'identité spécifique de plusieurs coquilles des couches marines de l'Éocène des environs de Paris avec celles de la formation nummulitique de la Suisse, quoiqu'il eût observé ces dernières au sommet même des Diablerets, l'une des plus hautes montagnes des Alpes Suisses, à plus de 3,000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Le calcaire nummulitique des Alpes présente souvent une grande épaisseur et se trouve immédiatement recouvert par une série de schistes de couleur foncée, de marnes et de grès à fucoïdes, ensemble auquel on a donné, en Suisse, le nom

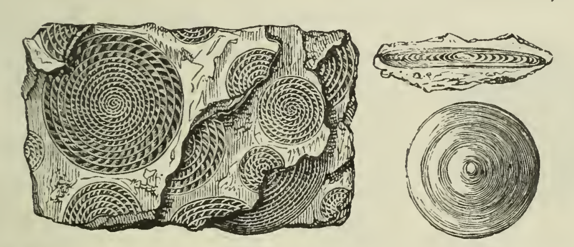


FIG. 271. — *Nummulites Puschi*, d'Archiac. Peyrehorade (Pyrénées).
a. Surface extérieure d'une Nummulite dont les sections longitudinales se voient dans le calcaire. — *b*. Coupe transversale de la même.

de *flysch*. Les recherches de Sir Murchison dans les Alpes, en 1847, ont démontré que toutes ces couches tertiaires se rencontrent dans les parties les plus disloquées et les plus élevées de cette chaîne, au soulèvement de laquelle on peut assigner ainsi une date relativement moderne.

La formation nummulitique, avec ses fossiles caractéristiques, joue, dans la charpente solide de la croûte terrestre, un rôle plus important que n'importe quel autre groupe tertiaire en Europe, en Asie, en Afrique. Elle atteint souvent une épaisseur de plusieurs milliers de mètres, et s'étend des Alpes aux Carpathes. Elle est extrêmement développée dans le nord de l'Afrique, comme, par exemple, en Algérie et dans le Maroc. On l'a observée en Égypte, où elle a fourni anciennement les carrières exploitées pour la construction des Pyramides, ainsi que dans l'Asie Mineure et à travers la Perse, par Bagdad, jusqu'à l'embouchure de l'Indus. Elle existe non-seulement à Cutch, mais encore dans la chaîne montagneuse qui sépare le Sind de la Perse et que traversent les passages conduisant au Caboul ; on l'a même suivie bien plus loin vers l'est dans l'Inde, entre le Bengale oriental et les frontières de la Chine.

Le docteur T. Thomson a observé des nummulites à une élévation de 5,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans la partie occidentale du Thibet.

J'ai trouvé moi-même en très-grande abondance, sur les versants des Pyrénées, dans un marbre cristallin compacte, une espèce qui a reçu de M. d'Archiac le nom de *Nummulites Puschi* (fig. 271), et qui est commune aux roches du même âge dans les Carpathes.

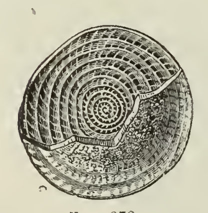


Fig. 272.
Nummulites exponens, Sow. (Europe et Asie).

Une autre espèce très-grande, la *Nummulites exponens*, J. Sow. (fig. 272), est répandue non-seulement dans le midi de la France, aux environs de Dax, mais en Allemagne, en Italie, dans l'Asie Mineure et à Cutch, enfin jusque dans les monts Sylhet sur les frontières de la Chine.

Dans plusieurs de ces lointaines régions, à Cutch, par exemple, quelques coquilles, telles que la *Nerita conoïdea* (fig. 269), accompagnent, comme en France, les nummulites.

Divers observateurs considèrent la formation nummuli-

tique comme appartenant en partie à l'époque crétacée; cette erreur vient sans doute de la confusion qu'on a faite d'un genre mixte, les Orbitoïdes, avec les véritables nummulites.

Si l'on admet que la formation nummulitique occupe le milieu de la série Éocène, on est étonné de la date comparativement moderne qui doit être assignée à quelques-unes des grandes révolutions survenues dans la géographie physique de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique septentrionale. Toutes les chaînes de montagnes, comme les Alpes, les Pyrénées, les Carpathes et l'Himalaya, dont les couches nummulitiques constituent le centre et les parties les plus élevées, ne durent apparaître qu'après la période de l'Éocène Moyen. Durant cette période, la mer recouvrait les surfaces que ces chaînes occupent aujourd'hui, car les nummulites et les testacés qui les accompagnent habitaient indubitablement l'eau salée. Avant ces événements, qui convertirent une immense nappe d'eau en continent, l'Angleterre avait été peuplée (v. p. 466) de différents quadrupèdes, de pachydermes herbivores, de chauves-souris insectivores et d'opossums.

Presque tous les volcans éteints qui conservent des vestiges de leur forme primitive ou des cratères dont on peut encore suivre les courants de lave, sont beaucoup plus modernes que la faune Éocène dont il est ici question ; outre ces monuments superficiels de l'action de la chaleur, les influences plutoniques ont opéré pendant la même période des changements extraordinaires dans la contexture des roches. Certaines portions des couches tertiaires à nummulites recouvrant les couches tertiaires appelées *flysch* ont passé, dans les Alpes centrales, à l'état de roches cristallines et ont été transformées en marbre, quartz, micaschiste et gneiss (1).

(1) Murchison, *Quart. Journ. of Geol. Soc.*, vol. V; — et Lyell, vol. VI, 1850, *Anniversary Address.*

COUCHES ÉOCÈNES DES ÉTATS-UNIS.

Dans l'Amérique du Nord, les formations Éocènes occupent sur les bords de l'Atlantique une étendue d'autant plus considérable qu'on s'avance davantage vers le Sud, depuis le Delaware et le Maryland jusqu'à la Géorgie et l'Alabama. On les rencontre également dans la Louisiane et dans d'autres États situés à l'est et à l'ouest de la vallée du Missisipi. A Claiborne, Alabama, plus de 400 espèces de coquilles marines, avec différents échinodermes et des dents de poissons, caractérisent l'un des membres de ce système. Au nombre des coquilles se trouve en abondance la *Cardita planicosta* (fig. 235) ; la présence de ce fossile et de quelques autres plus ou moins identiques avec les espèces de l'Europe semble prouver que les couches de Claiborne sont contemporaines du groupe central de Bracklesham en Angleterre, et du Calcaire Grossier de Paris (1).

Plus haut dans la série, est un calcaire remarquable, appelé d'abord *Calcaire à Nummulites*, d'après le grand nombre de corps discoïdaux ressemblant aux nummulites qu'il contient. M. d'Orbigny classe aujourd'hui ces fossiles dans le genre *Orbitoïde*. Le Docteur Carpenter a démontré qu'ils appartiennent au groupe des foraminifères (2) ; il pense que l'Orbitoïde dont il est ici question (*O. Mantelli*) est de la même espèce que celui de Cutch, dans l'Éocène Moyen ou formation nummulitique de l'Inde. La section suivante explique la position des trois subdivisions de la série Éocène, nos 1, 2 et 3, dont j'ai pu parfaitement saisir et déterminer les rapports dans le comté de Clarke, entre les rivières Alabama et Tombeckbee.

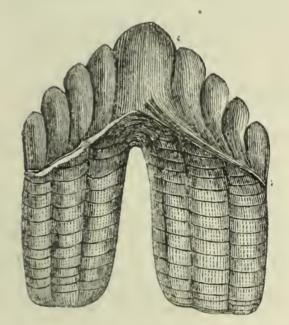
Le groupe inférieur n° 1 offre une épaisseur de plus de 30 mètres, et comprend des lits de marne dans lesquels on

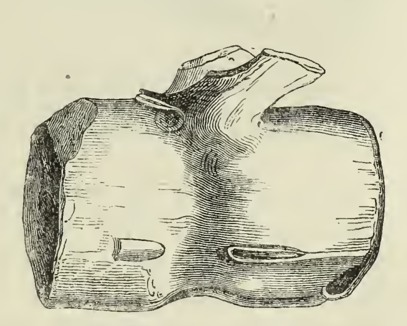
(1) Voyez un Mémoire par l'auteur, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. IV, p. 12 ; et *Second Visit to the United States*, vol. II, p. 59.

(2) *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. VI, p. 32.

rencontre l'*Ostreæa sellæformis*, qui forme un banc depuis l'Alabama jusqu'à la Virginie, et représente l'*Ostræa flabellula* du groupe Éocène d'Europe. Dans d'autres lits du n° 1, on trouve deux coquilles d'Europe, la *Cardita planicosta* et le *Solarium canaliculatum*, ainsi qu'un grand nombre d'espèces particulières à l'Amérique. On y voit également beaucoup de coraux, des débris de poissons placoïdes et de raies, des épées d'espadons (fig. 237); tous ces fossiles affectent une ressemblance générique avec ceux des couches Éocènes d'Angleterre et de France.

Le n° 2 (fig. 274) est un calcaire blanc, souvent tendre et argileux, mais parfois très-compacte et calcaire. Il contient





Zeuglodon cetoïdes, Owen. *Basilosaurus*, Harlan.
FIG. 273. — Molaire de grandeur naturelle. FIG. 275. — Vertèbre réduite.

plusieurs coraux particuliers ainsi qu'un grand Nautile voisin du N. *ziczac;* dans le lit supérieur se trouve un cétacé gigantesque auquel Owen a donné le nom de *Zeuglodon* (1).

Les os énormes de ce cétacé sont tellement abondants dans le Comté de Clarke qu'ils caractérisent la formation. La colonne vertébrale d'un squelette trouvé par le Docteur Buckley avait près de 21 mètres de long, et, dans le voisinage, on a extrait une autre épine dorsale de 15 mètres environ. Pendant la courte excursion que j'ai faite dans cette localité, j'ai découvert des débris de cet animal fossile dans un si grand nombre d'endroits, sur un rayon de 15 kilomètres, que je

(1) R. W. Gibbes, *Journ. of Acad. nat. sc. Philad.*, vol. I, 1847.

suis porté à conclure que ces débris ont appartenu à plus de quarante individus.

M. Owen a fait remarquer que cet énorme animal n'appartient pas à la classe des reptiles, car chaque dent présente une double racine (fig. 273) implantée dans un double alvéole correspondant ; cette opinion a été confirmée depuis

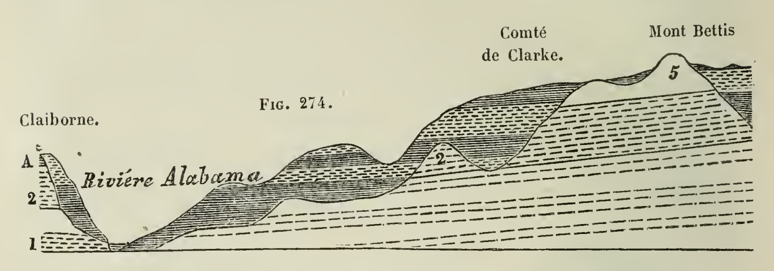


FIG. 274.

1. Sable, marne, etc., avec denombreux fossiles.
2. Calcaire blanc, ou calcaire pourri, avec *Zeuglodon*.
3. Calcaire nummulitique à Orbitoïdes.
} Éocène.
4. Formation supérieure de sable et d'argile, sans fossiles. Age inconnu.

par les Docteurs Wyman et R.-W. Gibbes. La découverte d'un crâne entier d'une autre espèce fossile de la même famille a prouvé que ces animaux faisaient partie de la famille des baleines, car ils avaient les doubles condyles occipitaux que l'on remarque exclusivement dans les mammifères, ainsi que les os tympaniques convolutés qui sont particuliers aux cétacés.

Près de la jonction du n° 2 avec le calcaire superposé n° 3, existent des couches caractérisées par les coquilles suivantes : *Spondilus dumosus* (*Plagiostoma dumosum*, Morton), *Pecten Poulsoni*, *Pecten perplanus* et *Ostræa cretacea*.

Le n° 3 (fig. 274) est un calcaire blanc formé en grande partie par l'*Orbitoïdes* de d'Orbigny, et que l'on avait considéré d'abord comme une nummulite (*N. Mantelli*) ; ce fossile est mêlé de quelques lunulites, de petits coraux et de coquilles (1). L'origine de cette pierre molle et colorée, comme celle de notre craie blanche, à laquelle elle ressemble

(1) Lyell, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1847, vol. IV, p. 15.

beaucoup, me paraît donc devoir être attribuée à la décomposition de ces foraminifères. Les pays où elle abonde présentent la même absence de forêts que l'on remarque sur nos collines de craie; ou bien elle n'est recouverte que par le *Juniperus Virginiana*, comme certains districts crayeux le sont, en Angleterre, par l'if et le genévrier.

Quelques-unes des coquilles de ce calcaire sont communes aux lits de Claiborne, mais un plus grand nombre sont particulières au dépôt.

On observera dans la section (fig. 274) que les couches nos 1, 2 et 3 sont, la plupart du temps, recouvertes d'une épaisse formation de craie ou de sable sans fossiles. Dans certaines parties du *bluff*, ou falaise de la rivière Alabama, à Claiborne, les lits nos 1, 2 sont à découvert du haut en bas, tandis que, sur d'autres points, la formation la plus récente, n° 4, forme la tranche presque entière de la falaise. L'absence de restes organiques n'a pas permis de déterminer encore l'âge de cette masse superposée.

Les couches de pierre meulière des États du Midi contiennent une si grande quantité de fossiles se rapportant à ceux de Claiborne, qu'il n'est pas douteux qu'elles n'appartiennent à cette même division du groupe Éocène; mais je n'ai pas été assez heureux pour préciser les rapports des deux dépôts dans une coupe continue. M. Tuomey les considère comme la portion inférieure de la série. Il existe peut-être une représentation des lits de Claiborne dans les endroits où le calcaire manque et où prédomine la silice provenant de la décomposition du feldspath. On y rencontre des schistes argileux, des sables quartzeux, du limon d'une couleur rouge brique, avec veines de chert cellulaire ou meulière que l'on exploite comme pierre à moudre.

CHAPITRE XVII

GROUPE CRÉTACÉ.

Laps de temps écoulé entre les périodes Crétacée et Éocène. — Certaines formations en Belgique et en France appartiennent-elles à une époque intermédiaire ? — Calcaire pisolitique. — Divisions de la série Crétacée dans le nord-ouest de l'Europe. — Couches de Maëstricht. — Craie de Faxoe. — Craie blanche. — Son étendue géographique et son origine. — Sa formation dans une mer ouverte et profonde. — Jusqu'à quel point elle dérive des coquilles et des coraux. — Roche semblable en voie de formation dans les profondeurs de l'Atlantique, et composée de globigérinées. — Origine du silex dans la craie. — Diatomacées siliceuses de l'Atlantique. — Action intermittente, cause probable des couches alternantes de craie blanche et de silex. *Pierres-pots* de Horstead. — Galets isolés de quartz et de roches étrangères dans la craie. — Fossiles des roches Crétacées Supérieures. — Échinodermes, Mollusques, Bryozoaires, Éponges. — Greensand Supérieur et Gault. — Couches de Blackdown. — Flore de la période Crétacée Supérieure. — Plantes fossiles d'Aix-la-Chapelle. — Grande proportion d'Angiospermes Dicotylédones. — Leur coexistence avec des genres éteints de grands reptiles. — Craie du midi de l'Europe. — Calcaire à hippurites. — Roches crétacées des Etats-Unis.

Parlons maintenant du groupe secondaire supérieur nommé communément Craie, ou couches crétacées, du mot latin *creta* appliqué à ce calcaire terreux, blanc, qui constitue un membre supérieur du groupe remarquable dans les parties de l'Europe où il a été pour la première fois étudié. La différence marquée qui existe entre les fossiles des terrains tertiaires et ceux des formations crétacées a fait supposer longtemps qu'un nombre infini de siècles s'étaient écoulés entre les époques de leur création. Si l'on se fonde sur les changements de faune et de flore que la terre aurait subis entre les deux périodes, le temps qui aurait séparé le Crétacé et l'Éocène aurait été aussi considérable que celui qui s'est écoulé entre l'Éocène et les périodes récentes, à l'histoire desquelles nous avons consacré les sept précédents chapitres. On a observé çà et là, pendant la moitié du siècle dernier, des dépôts

d'époque intermédiaire entre la Craie blanche, l'Argile plastique et les sables des districts de Paris et de Londres. Ces monuments ont pour le géologue le même intérêt que certains faits d'époques intermédiaires pour ceux qui s'occupent de l'histoire des nations; les uns et les autres répandent une certaine lumière sur des âges de ténèbres, précédés et suivis d'autres âges dont les annales nous sont comparativement bien mieux connues. Mais ces monuments géologiques nouvellement découverts sont loin de combler le vide qui existe; quelques-uns s'allient de très-près à l'Éocène, d'autres au type Crétacé; aucun ne paraît, du moins jusqu'à présent, posséder une faune assez caractéristique et assez distincte pour obtenir une place indépendante dans la grande série chronologique.

Au nombre de ces formations intermédiaires sont les Sables de Thanet (Prestwich), que nous avons décrits dans le dernier chapitre et classés dans l'Éocène Inférieur. A la même série tertiaire appartiennent aussi les divisions Belges que le Professeur Dumont nomme Landéniennes et Heersiennes, divisions probablement plus anciennes que les Sables de Thanet. D'un autre côté, les calcaires de Maëstricht et de Faxoe se lient très-étroitement à la craie, à laquelle de puissantes autorités ont récemment rapporté le calcaire Pisolitique de France.

Les lits du Landénien Inférieur de Belgique se composent de marnes et de sables contenant souvent une grande quantité de terre verte nommée *Glauconite*. On voit de ces lits à Tournay, à Angres près de Mons, à Orp-le-Grand, et à Lincent et Landen dans l'ancienne province de Hesbaye, Belgique, où ils fournissent une pierre à bâtir très-durable et d'une légèreté qui en rend le transport facile. Quelques rares coquilles des genres *Pholadomya*, *Scalaria* et autres, se rapportent spécifiquement aux fossiles des Sables de Thanet, mais la plupart d'entre elles, comme l'*Astarte inæquilatera*, Nyst, sont d'espèces particulières. Dans la pierre à bâtir d'Orp-le-Grand, j'ai trouvé un *Cardiaster*, genre qui, d'après

M. Forbes, n'était pas encore connu dans les roches plus nouvelles que la *Craie*.

Au village de Heers, près de Waremme en Belgique, et à Marline dans le même canton, il existe une marne ou glauconite calcaire encore plus ancienne que le Landénien Inférieur. On l'a souvent classée dans la série crétacée, quoiqu'elle ne se soit encore jamais offerte sous un aspect véritablement crétacé, c'est-à-dire avec des fossiles tels qu'Ammonite, Baculite, Bélemnite, Hippurite, etc. Bien que les coquilles en soient pour la plupart d'espèces nouvelles, elle renferme, suivant M. Hébert, une forme fossile Éocène, la *Pholadomya cuneata*, qui lui assigne une place certaine dans la série tertiaire.

Calcaire pisolitique de France. — Les géologues se sont trouvés bien moins d'accord quand ils ont voulu déterminer les rapports chronologiques de la roche de ce nom, que l'on trouve aux environs de Paris, au nord, au midi, à l'est comme à l'ouest, par exemple entre les Vertus et Laversine, entre Meudon et Montereau. Elle se présente généralement sous la forme d'un calcaire grossier, de couleur jaunâtre ou blanchâtre, dont l'épaisseur totale est d'environ 30 mètres. Son étendue géographique, suivant M. Hébert, n'a pas moins de 180 kilomètres de l'est à l'ouest, et de 150 du nord au midi. On ne la rencontre sur cette étendue de pays qu'en petits lambeaux reposant en stratification discordante sur la craie blanche. Dans l'origine, elle fut considérée par M. E. de Beaumont comme crétacée, parce que, de même que la craie blanche, elle avait subi une dénudation antérieure à la période Éocène ; mais, se fondant sur l'examen de 54 espèces fossiles, divers paléontologistes, parmi lesquels MM. G. d'Orbigny, Deshayes et d'Archiac, ont déclaré que son caractère était décidément plus tertiaire que crétacé. Plus récemment, M. Hébert ayant trouvé à Montereau, dans la même roche pisolitique, une espèce crétacée, le *Pecten quadricostatus*, à côté d'autres fossiles communs à la craie de Maëstricht et au calcaire à

Baculites du Cotentin en Normandie, a considéré cette formation comme un membre supérieur du groupe crétacé ; cette opinion a été depuis adoptée par M. Alcide d'Orbigny, qui a soigneusement examiné ces fossiles. Le *Nautilus Danicus* (fig. 278), et deux ou trois autres espèces trouvées dans la même roche se rencontreut fréquemment dans celle de Faxoe en Danemark ; mais, jusqu'à présent, on n'y a découvert aucun des genres Ammonite, Hamite, Scaphite, Turrilite, Baculite ou Hippurite. Il faut avouer que la proportion des espèces particulières, dont plusieurs ont un aspect tertiaire, est considérable, et la vaste érosion que les eaux ont fait subir à la craie blanche avant la formation du calcaire pisolitique, fournit une autre preuve du long intervalle de temps qui a séparé les deux dépôts. On peut toutefois regarder la formation pisolitique comme étant d'âge un peu plus rapproché de l'époque secondaire et de l'époque tertiaire que la roche de Maëstricht.

Il faut observer que toutes les couches ci-dessus désignées, depuis le sable de Thanet jusqu'au calcaire pisolitique inclusivement, et même la roche de Maëstricht, portent des traces de dénudation éprouvée à différentes époques, postérieurement à la consolidation de la craie blanche. Ce fait expliquerait jusqu'à un certain point l'hiatus remarquable qu'on observe dans la série des roches de l'Europe entre les époques secondaire et tertiaire ; un grand nombre de couches qui existaient jadis auront sans aucun doute été enlevées.

CLASSIFICATION DES ROCHES CRÉTACÉES.

On divise généralement le groupe crétacé en séries Supérieure et Inférieure, chacune d'elles comprenant plusieurs subdivisions caractérisées par des fossiles particuliers qui conservent parfois, sur de vastes étendues, un caractère minéral uniforme. La série Supérieure est souvent désignée sous le nom de *Craie*, et l'Inférieure sous celui de *Green-*

sand (*Grès vert*). Cette dernière dénomination provient de la couleur verte produite dans certaines couches par la présence de grains de matière chloritique. Le tableau suivant comprend les sous-divisions le plus communément adoptées.

CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

A. 1. Couches de Maëstricht et calcaire Faxoe.
2. Craie blanche avec silex.
3. Craie marneuse, ou craie grise légèrement argileuse.
4. Grès vert Supérieur avec lits accidentels de chert et marne chloritée (*craie chloritée* des auteurs français) dans la partie supérieure.
5. Gault, y compris les couches de Blackdown.

CRÉTACÉ INFÉRIEUR (ou *Néocomien*).

B. 1. Greensand Inférieur. — Sable vert, sable ferrugineux, argile et lits accidentels de calcaire (Rag de Kent).
2. Couches Wealdiennes, ou argile du Weald et sables de Hastings (1).

Couches de Maëstricht. — Près des rives de la Meuse, à Maëstricht, repose sur la craie blanche ordinaire avec silex, une formation calcaire d'environ 30 mètres d'épaisseur, dont les fossiles forment un ensemble particulier et se distinguent des espèces tertiaires. Quelques-uns sont communs à la craie blanche inférieure, par exemple le *Belemnites mucronatus* (fig. 290) et le *Pecten quadricostatus* que plusieurs géologues considèrent comme une simple variété

(1) M. Alcide d'Orbigny, dans son remarquable ouvrage intitulé : *Paléontologie française*, a adopté de nouveaux noms pour désigner les sous-divisions françaises de la Série Crétacée ; autant qu'on peut faire concorder ces noms avec les équivalents anglais, on a les parallèles suivants :

Étage Danien	Couches de Maëstricht.
— Sénonien......	Craie blanche et marne crayeuse.
— Turonien......	Partie de la marne crayeuse.
— Cénomanien...	Greensand Supérieur.
— Albien.........	Gault.
— Aptien........	Portion supérieure du Greensand Inférieur.
— Néocomien	Portion inférieure du même.
— Néocomien inférieur......	Couches wealdiennes et couches marines contemporaines.

du *Pecten quinquecostatus* (fig. 305). Outre la Bélemnite, il y a d'autres genres, tels que Baculite et Hamite, qu'on ne trouve jamais dans des couches plus nouvelles que la craie, mais qu'on rencontre fréquemment dans celles de Maëstricht. D'un autre côté, on observe les *Voluta*, *Fasciolaria* et autres genres de coquilles univalves qui n'existent ordinairement que dans les couches tertiaires.

Au mont Saint-Pierre, dans l'un des faubourgs de Maëstricht, la partie supérieure de ces couches se montre sur une épaisseur d'environ 6 mètres, et abonde en coraux et en bryozoaires qui se détachent facilement de la gangue. A cette partie supérieure succède un calcaire tendre et jaunâtre d'environ 15 mètres d'épaisseur, d'où l'on extrait des blocs de construction. Vers ses assises inférieures il est plus blanc et contient accidentellement des nodules de chert gris ou calcédoine.

M. Bosquet, avec qui j'ai examiné cette formation (août 1850), m'a fait remarquer une bande de craie de 0m,050 à 0m,100 d'épaisseur, contenant de la terre verte et de nom-

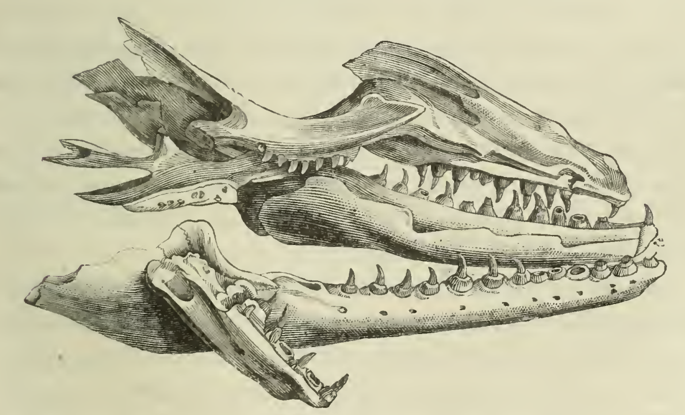


FIG. 276. — *Mosasaurus Camperi*. L'original a 1 mètre environ de longueur.

breuses tiges d'encrines; cette bande trace une ligne de démarcation entre les couches qui contiennent les fossiles particuliers à Maëstricht et celles de la craie blanche infé-

rieure. Cette dernière division se distingue par des lits réguliers de silex noirs, noduleux, et par plusieurs coquilles telles que *Terebratula carnea* (fig. 301) qui manquent absolument dans les lits supérieurs à la bande verte. Quelques-uns des restes organiques qui ont rendu célèbre le Mont Saint-Pierre se rencontrent au-dessus et au-dessous de cette bande de partage ; on y distingue le grand reptile marin *Mosasaurus* (fig. 276), saurien qui pouvait avoir 7 mètres de longueur, et dont on a trouvé le crâne entier et une grande portion du squelette. Ces sortes de débris se remarquent principalement dans la pierre de taille tendre qui constitue le membre principal des lits de Maëstricht. Au nombre des fossiles communs à la craie de Maëstricht et à la craie blanche, on peut citer l'échinoderme représenté par la figure 277.

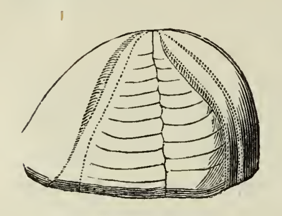


Fig. 277. — *Hemipneustes radiatus*, Agass. *Spatangus radiatus*, Lam. Craie de Maëstricht et Craie blanche.

J'ai observé des preuves d'une dénudation antérieure de la craie blanche dans le lit inférieur de la formation de Maëstricht en Belgique, au village de Jendrain, à environ 48 kilomètres S.-O. de cette ville ; dans cette localité, la base du dépôt plus nouveau consistait principalement en une couche de silex de la craie, roulés, noirs, au milieu d'échantillons parfaitement conservés de *Thecidea radians* et de *Belemnites mucronatus*.

Craie de Faxoe. — Dans l'île de Seeland en Danemark, le membre le plus nouveau de la série crayeuse observé dans les falaises de Stevensklint, où il repose sur la craie blanche avec silex, est un calcaire jaune que l'on rencontre en partie à Faxoe, et dont on se sert pour les constructions ; il est composé de coraux plus distincts même que ceux des bancs de coraux modernes. Les travaux de carrière descendent à une profondeur de plus de 12 mètres, mais l'épaisseur totale de la formation est encore inconnue. Les coquilles y

sont, pour la plupart, à l'état de moules ; un grand nombre appartiennent à des mollusques univalves très-rares dans la craie blanche en Europe. Ce sont deux espèces de *Cypræa*, une d'*Oliva*, deux de *Mitra*, quatre de *Cerithium*, six de *Fusus*, deux de *Trochus*, deux de *Patella*, une d'*Emarginula*, etc. ; en somme, plus de trente univalves spiroïdes ou patelliformes. Quelques bivalves qui les accompagnent, ainsi que des échinodermes et des zoophytes, sont tout à fait identiques avec les fossiles de la véritable série Crétacée.

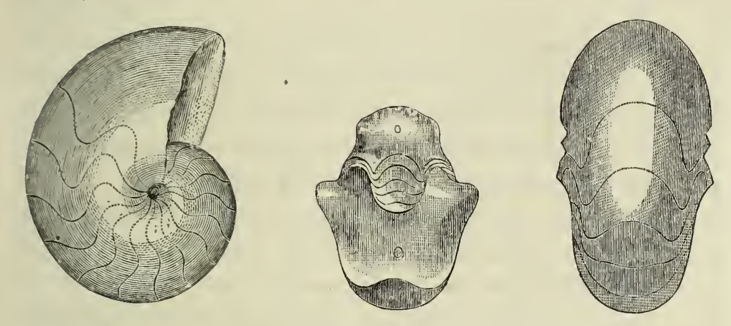


FIG. 278. — *Nautilus Danicus*, Schl. — Faxoe, Danemark.

Parmi les céphalopodes de Faxoe, nous devons mentionner les *Baculites Faujasii* et *Belemnites mucronatus*, coquilles de la craie blanche. Le *Nautilus Danicus* (fig. 278) est caractéristique de cette formation ; on l'observe aussi en France dans le calcaire pisolitique de Laversine, département de l'Oise.

On rencontre dans la pierre de Faxoe des pattes et des têtes entières d'un petit crabe, *Brachyurus rugosus* (Schlotthein) ; des crustacés semblables se trouvent dans les récifs à coraux modernes. Quelques parties de cette dernière formation coralline consistent en craie blanche terreuse, qui évidemment a été produite en même temps que la masse. Ce fait ne manque pas d'une certaine importance, car il se rattache à la théorie de l'origine de la craie blanche ; la décomposition de coraux analogues à ceux de Faxoe a pu fournir un limon blanchâtre qu'on ne saurait distinguer de

la craie, et qui aura été dispersé au loin sur le fond de l'océan, où existaient des récifs de même nature.

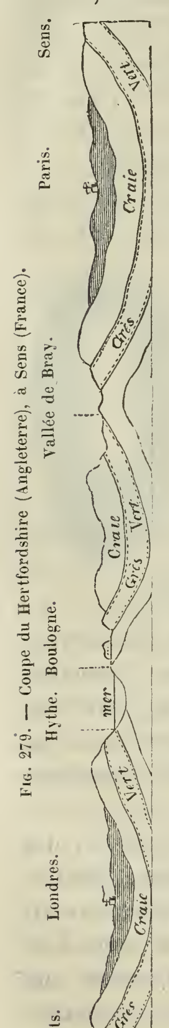


Fig. 279. — Coupe du Hertfordshire (Angleterre), à Sens (France).

Craie blanche (voy. Tableau, p. 496 et suiv.) — Les lits de craie les plus élevés en Angleterre et en France consistent en une masse pure et blanche de calcaire, ordinairement trop tendre pour les constructions, mais qui acquiert parfois une certaine solidité. Cette roche est presque totalement formée de carbonate de chaux ; la stratification en est souvent obscure, excepté lorsqu'elle est accusée par des bandes de silex, ayant quelques centimètres d'épaisseur, continues en surface, ou plus souvent formées de nodules et séparées par des intervalles de 60 à 120 centimètres.

A cette craie supérieure succède ordinairement, dans l'ordre descendant, une grande masse de craie blanche sans silex, après laquelle vient la craie marneuse légèrement mélangée de matière argileuse. En certains endroits du midi de l'Angleterre, l'épaisseur de l'ensemble des trois divisions est de 300 mètres.

Sa coupe d'autre part (fig. 279) montre comment la craie blanche passe d'Angleterre en France, et comment elle est recouverte par les couches tertiaires précédemment décrites, et superposée aux couches crétacées inférieures.

Étendue géographique et origine de la craie blanche. — La surface sur laquelle la craie blanche conserve un aspect à peu près homogène est tellement considérable, que les premiers géologues ont désespéré de découvrir aucun dépôt de date récente qui lui soit analogue. On peut suivre la craie pure vers le nord-ouest et le sud-est,

depuis l'Irlande septentrionale jusqu'à la Crimée, sur une longueur de près de 1,500 kilomètres, et, en travers de cette direction, depuis la Suède méridionale jusqu'au sud de Bordeaux, sur une autre longueur de plus de 1,100 kilomètres. Dans la Russie méridionale, suivant Sir R. Murchison, cette roche atteint quelquefois une épaisseur de 180 mètres et possède les mêmes caractères minéralogiques qu'en France et en Angleterre ; elle contient aussi les mêmes fossiles : *Inoceramus Cuvieri*, *Belemnites mucronatus* et *Ostræa vesicularis*.

Mais, bien qu'elle en occupe, sur une épaisseur plus ou moins considérable, de vastes étendues, ce serait une erreur de croire que la craie a toujours existé sans discontinuité sur la surface dont nous venons de tracer les limites. Il suffit de jeter un coup d'œil sur ces régions du Pacifique, où abondent les récifs de coraux, pour y remarquer certains archipels, comme le Dangereux et celui de Radack, ainsi que les différents groupes voisins qui s'étendent sur une longueur de 1,700 à 2,000 kilomètres et sur une largeur de 600. L'espace auquel Flinders a proposé de donner le nom de Mer de Corail est encore plus étendu, car il est limité à l'est par la barrière Australienne, entièrement formée de roches de corail, à l'ouest par la Nouvelle-Calédonie, et au nord par les récifs de la Louisiane. Quoique les îles soient assez clair-semées dans ces parages, la vase qui résulte de la décomposition des zoophytes et des foraminifères peut être entraînée au loin par les courants de l'océan. J'ai déjà indiqué la ressemblance de cette vase avec la craie, et j'ai fait remarquer, en parlant du calcaire de Faxoe, au commencement de ce volume, que certaines portions de la craie qui, au premier abord, paraissent totalement dépourvues de débris organiques, se montrent, sous le microscope, remplies de fragments de coraux, de bryozoaires, de spongiaires, de valves d'entomostracés, de coquilles de foraminifères et d'infusoires encore plus ténus (Voy. p. 44).

Antérieurement à ces observations, on avait soupçonné

que la craie pouvait être d'origine animale, alors même que toute trace de structure organique s'y trouvait effacée. Cette idée hardie se fondait en partie sur ce fait, que la craie consiste en carbonate de chaux tout à fait semblable au produit des détritus des testacés, des échinodermes et des coraux ; elle se basait aussi sur le passage à la craie qu'on observe dans ces fossiles lorsqu'ils sont à moitié décomposés. Mais cette hypothèse parut à un grand nombre de naturalistes vague et imaginaire, jusqu'au moment où de nouvelles découvertes vinrent la confirmer.

On sait, par les descriptions du Capitaine Nelson, qu'il existe, dans les îles Bermudes et dans celles de Bahama, plusieurs bassins ou lagunes environnés et presque clos par des récifs madréporiques. Sur le fond de ces bassins se dépose une vase calcaire, blanche, molle, qui résulte non-seulement de la trituration des corallines (ou plantes calcaires), et des coraux, de dépouilles de foraminifères, de mollusques, d'échinodermes et de crustacés, mais encore, comme M. Darwin l'a observé en étudiant les îles de coraux du Pacifique, de la matière fécale rejetée par les échinodermes, les conques, les poissons corallophages. Dans les mers des Indes Occidentales, le Strombus (*S. gigas*) fournit un large tribut à la vase crayeuse par le dépôt de ses pelotes fécales, composées de menus grains de matière calcaire friable offrant une sorte de structure organique. M. Darwin a décrit des poissons sociétaires du genre *Scarus*, qu'il a vus en légions nombreuses dans les eaux claires des récifs du Pacifique, rongeant paisiblement les coraux vivants de la même manière que les quadrupèdes herbivores broutent le gazon. Leurs intestins, lorsqu'on les ouvre, sont remplis de craie impure. Cette circonstance a de l'intérêt, si l'on se rappelle combien les paléontologistes furent embarrassés quand, pour la première fois, ils trouvèrent



FIG. 280. — Coprolites de poissons de la craie.

dans la craie certains corps qu'ils nommèrent d'abord *cônes de mélèzes*, et dans lesquels Buckland fit voir plus tard des excréments de poissons. Ces coprolites en spirale (fig. 280) sont, comme les écailles et les os de poissons fossiles de la craie, composés principalement de phosphate de chaux.

Aux îles Bahama, l'Ange de mer, l'Unicorne ou Bécasse de mer, et plusieurs autres se nourrissent de poissons à écailles ou de coraux.

On peut observer aujourd'hui une vase ayant cette origine dans les Atolls des Maldives ; elle est entraînée, par d'étroites ouvertures, des bassins intérieurs des récifs vers l'océan, et colore les eaux de la mer jusqu'à une grande distance. Une fois desséchée, elle est assez semblable à la craie ordinaire ; si on la soumettait à une pression moyenne, la ressemblance deviendrait probablement plus complète (1).

M. Dana, dans sa description du récif madréporique de Oahu, îles Sandwich, dit que certaines variétés de la roche sont composées de coquilles empâtées dans un calcaire compacte, de consistance aussi solide qu'un calcaire secondaire, tandis que d'autres variétés ressemblent à la craie, en présentent la couleur, la cassure terreuse, la texture homogène, le peu de dureté, et fournissent aussi une bonne pierre à écrire. Le même auteur a décrit plusieurs récifs de coraux, aujourd'hui en voie d'accroissement, où se dépose une craie qu'on ne saurait distinguer de la craie ancienne (2). Ce qui favorise surtout l'extension sur de larges surfaces sous-marines des éléments calcaires de la craie aussi bien que des fossiles qui y sont enfouis, c'est la faible densité des coquilles de mollusques et de zoophytes comparée à celle du sable ordinaire et de la matière minérale. La vase qui dérive de la décomposition de ces fossiles est également plus légère que la vase argileuse et inorganique, et plus facile-

(1) Nelson, *Geol. Trans.*, 1837, vol. V, p. 108 ; et *Geol. Quart. Journ.*, 1853, p. 200.

(2) *Geol. of U. S. Exploring Expedition*, p. 252, 1849.

ment transportable par les courants, surtout dans l'eau salée.

Les bancs de coraux existants ressemblent bien plus aux calcaires oolithiques, formés en grande partie d'une roche compacte, qu'à la craie blanche friable ; analogie qui ressortira bien mieux de la description qui sera faite de ces formations oolithiques dans les chapitres XX et XXI. Les sondages opérés en 1858 dans les profondeurs de l'Atlantique du Nord, pour la pose du télégraphe électrique entre l'Irlande et Terre-Neuve, ont récemment jeté une nouvelle lumière sur l'origine de ces derniers dépôts. A des profondeurs excédant quelquefois 3 kilomètres, on a retiré du fond de l'océan un limon qui, d'après l'examen du Professeur Huxley, se composait presque entièrement (pour plus des 19/20es) de Rhizopodes très-petits, ou de coquilles foraminifères du genre *Globigerina*, et spécialement de l'espèce *Globigerina bulloïdes* (fig. 281). Dans la dixième partie restante du limon, les corps organiques étaient en première ligne, considérés

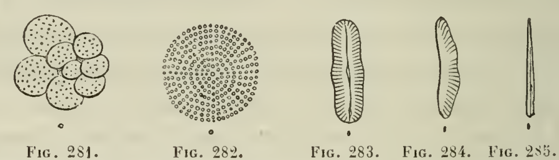


FIG. 281. FIG. 282. FIG. 283. FIG. 284. FIG. 285.

Corps organiques formant la vase du lit de l'Atlantique à de grandes profondeurs.

FIG. 281. — *Globigerina bulloïdes*. Rhizopode calcaire.
FIG. 282. — *Actinocyclas*........ }
FIG. 283. — *Pinnularia*.......... } Diatomes siliceux.
FIG. 284. — *Eunotia bidens*...... }
FIG. 285. — *Spicule* d'éponge. Éponge siliceuse.

au point de vue de la quantité, des coquilles siliceuses appelées *Polycystinées ;* et immédiatement après venaient les squelettes des plantes connues sous le nom de *Diatomacées* (fig. 282, 283, 284), auxquelles se mêlaient parfois des spicules siliceuses d'éponges (fig. 285).

En 1860, Sir Léopold Mac Clintosh et le Docteur Wallich, pendant leur exploration sur le *Bulldog*, observèrent des coquilles du même genre *Globigerina*, qui formaient, dans la vaste étendue de l'Atlantique, une proportion de 95 pour

100 de la vase, soit entre les îles Fœroé et l'Islande, soit entre l'Islande et le Groenland. D'après leur description, la consistance de l'ooze (vase) retirée de ces profondeurs considérables, peut être comparée à celle du mastic. On trouva à sa surface des Globigérinées vivantes, et immédiatement au-dessous un nombre incalculable de grains calcaires, reliques des générations passées. Chacun de ces grains, ainsi qu'on peut le voir dans la figure où il est grossi, au lieu d'être solide, consiste en une réunion de cellules, dont la structure, formée par des Globigérinées semblables à celles de la craie blanche, nous fait comprendre, comme le fait très-bien observer M. Dana, l'agrégation imparfaite de cette dernière roche remarquable. En même temps, la production continuelle de ces Rhizopodes sur une vaste étendue du lit de l'océan, nous fait concevoir comment s'est formée anciennement sur le continent d'Europe une couche épaisse de calcaire crétacé, d'une composition uniforme, et dépourvu de sables, de galets, de plantes et de coquilles terrestres et d'eau douce, ainsi que d'autres signes d'une terre voisine. On ne saurait affirmer que cette craie blanche soit actuellement en voie de formation dans les profondeurs de l'océan, parce qu'on ne peut distinguer spécifiquement la *Globigerina bulloïdes* d'un fossile qui constitue en grande partie la craie d'Europe. On n'a pu représenter ce dernier parmi les foraminifères crétacés découverts (p. 44), en 1835, par M. Lonsdale, parce qu'on ne le rencontre qu'en fragments dans la craie blanche, et que la coquille entière n'était pas très-bien connue avant qu'on l'eût retirée vivante du fond de l'Atlantique. La Rosaline représentée dans la même page a quelque ressemblance extérieure avec la Globigérine, mais elle diffère de celle-ci dans l'arrangement de ses cellules.

Silex de la craie. — L'origine des couches de silex disposés en bandes continues ou en nodules, a toujours été plus difficile à expliquer que celle de la craie blanche. Aucun produit siliceux du même genre n'a été encore rencontré avec le limon crayeux dans les récifs de coraux modernes, mais en-

core ici les derniers sondages des profondeurs de la mer ont servi à découvrir la source probable de cette matière minérale. Dans l'expédition du *Bulldog*, dont nous avons déjà parlé, on s'est assuré que les Globigérinées calcaires qui occupent presque exclusivement certaines parties du fond de la mer, manquent totalement dans d'autres, entre le Groënland et le Labrador, par exemple. Le Docteur Wallich suppose que ces coquilles prospèrent dans les lieux où elles peuvent tirer leur nourriture des matières organiques ou autres, apportées du sud par les eaux chaudes du Gulf Stream, et qu'elles sont absentes dans ceux où les effets de ce grand courant ne se font pas sentir. Dans la plupart des endroits dépourvus de Rhizopodes calcaires, le lit de la mer est envahi, à des profondeurs de 400 brasses ou 730 mètres environ, par des plantes microscopiques appelées *Diatomacées*, déjà mentionnées (fig. 282, 284), dont la partie solide est siliceuse.

M. Dana nous a rappelé également que, dans les sondages opérés dans la mer du Kamtschatka, le Professeur Bailey a trouvé les mêmes végétaux microscopiques, aussi abondants dans cette région que le sont les Globigérinées dans l'Atlantique, et il ajoute que, lorsque ces Diatomacées se décomposent, les eaux alcalines de l'océan ne peuvent recueillir et tenir en solution qu'une partie de la silice mise en liberté. La portion restante a, par conséquent, toute facilité de former des nodules concrétionnés ou de s'agréger autour d'un corps étranger servant de noyau, surtout quand ce corps est à l'abri de toute décomposition et de tout changement chimique. Cela expliquerait la rencontre fréquente de fossiles sans nodules siliceux et la silicatisation de divers organismes (1). Dans certaines parties de l'hémisphère méridional, à la latitude de 13° sud et à une longitude de 16° est par exemple, comme le fait observer le Capitaine Maury, les Diatomacées et les spicules d'éponges sont les formes qui prédominent et tiennent la place des Rhizopodes calcaires.

(1) Géologie de Dana, p. 489.

Je rappellerai au lecteur qui se demanderait comment les Diatomacées peuvent se procurer constamment des quantités de silex en solution, que la décomposition des roches feldspathiques mentionnées ci-dessus est une source abondante de ce minéral. En général, tous les grands fleuves qui se déversent dans l'océan contiennent des matières siliceuses, et des sources chargées de silice en solution doivent jaillir en plusieurs points du lit de l'océan d'une manière analogue à ce qui se passe sur la terre ferme.

Le Docteur Buckland a cherché jadis à expliquer la présence de lits de silex noduleux ou tubulaires dans la craie, à tant de niveaux distincts, en supposant une accumulation périodique, sur de larges étendues, de sédiment formé de matière siliceuse et calcaire. Lorsqu'un lit d'une épaisseur de $1^{m},50$ ou $1^{m},80$ s'est accumulé, il s'opère une consolidation partielle, durant laquelle les silex plus lourds tombent au fond pour former des nodules, ou bien des couches continues, si la quantité de ces silex est suffisante (1). Mais l'épaisseur des masses de craie qui séparent certaines couches de silex ont toujours empêché cette hypothèse d'être complétement satisfaisante, bien qu'un semblable isolement des matières siliceuses nous aide à concevoir comment des nodules de silex peuvent se former çà et là, isolés, dans le milieu d'une gangue calcaire. Pour expliquer la succession régulière des couches siliceuses, il faut recourir à une action intermittente, favorisant alternativement les dépôts de matière calcaire et de matière siliceuse, et il a fallu probablement des siècles avant que la production des organismes microscopiques s'élevât à une quantité suffisante pour constituer un lit de plusieurs centimètres et de plusieurs mètres d'épaisseur. On peut imaginer qu'après un laps considérable d'années ou de siècles, des changements survenus dans la direction des courants marins aient facilité, sur une même surface, tantôt le dépôt de matière siliceuse, tantôt celui du calcaire en excès, de

(1) *Geol. Trans.*, 1re série, vol. IV, p. 413.

façon à donner lieu dans le premier cas à la prédominance des Globigérinées, et dans le second à celui des Diatomacées.

Une difficulté plus grande encore résulte de la présence de certains gros silex ou *potstones* (pierres-pots), comme on les appelle dans le Norfolk, isolés les uns des autres, ou disposés en colonnes presque continues, qui traversent à angles droits les lits ordinaires, horizontaux, des petits silex. J'ai visité, en 1825, plusieurs carrières ouvertes le long de la rivière Bure, près Horstead, à environ 9 kilomètres de Norwich; elles m'ont donné une coupe de la craie blanche, continue sur une longueur de 1,400 mètres, avec une épaisseur de 8 mètres; cette roche était recouverte d'un lit important de gravier. Les potstones, dont un grand nombre étaient en forme de poire, avaient habituellement $0^{m},90$ de haut sur

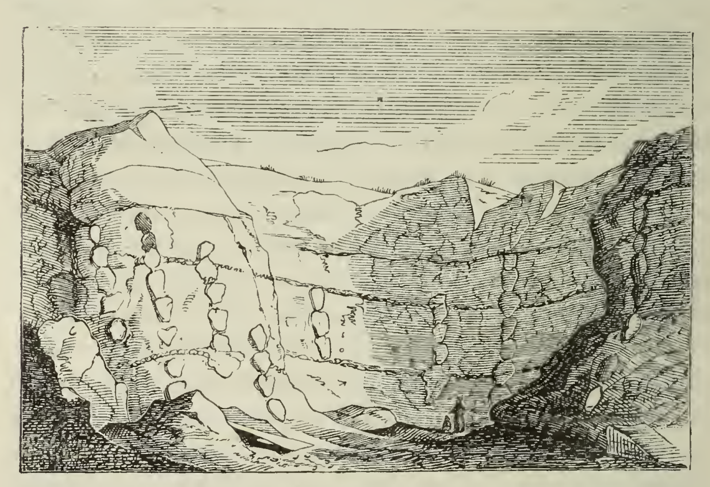


Fig. 286. — D'après un dessin de Mrs Grunn. Vue d'une carrière de craie à Horstead, indiquant la position des potstones.

$0^{m},30$ de large, et se montraient en rangées parallèles, comme autant de piliers inégalement espacés les uns des autres, ordinairement séparés par des distances de 6 à 9 mètres, et quelquefois presque réunis, ainsi qu'on peut le voir dans l'es-

quisse ci-dessus. Ces rangées n'étaient terminées vers le bas à aucune des profondeurs où j'ai pu les suivre ; elles ne l'étaient pas non plus vers le haut, excepté aux endroits où elles étaient coupées brusquement par le lit de gravier. J'ai cassé de ces potstones pour en examiner l'intérieur, et j'y ai trouvé un noyau cylindrique de craie pure, beaucoup plus dure que la craie qui forme la roche environnante, et moins délitescente que celle-ci lorsqu'on l'exposait aux injures de l'air. A 800 mètres de ce point, les piliers verticaux devenaient plus éloignés les uns des autres. Le Docteur Buckland a décrit des phénomènes très-analogues caractérisant la craie blanche sur la côte nord d'Antrim en Irlande (1).

Ces masses de silex en forme de poires ressemblent souvent par leur forme et leurs dimensions à de grosses éponges appelées coupes de Neptune (*Spongia patera*, Hardw.), qui croissent dans les mers de Sumatra. En imaginant une série de ces éponges gigantesques espacées les unes des autres, comme des arbres dans une forêt, et supposant que les individus de chaque génération successive poussent exactement à l'endroit où l'éponge mère a cessé de vivre et a été enveloppée par le sédiment calcaire, de manière à être empilés les uns au-dessus des autres en colonne verticale, la croissance de ces éponges marchant de front avec l'accumulation du sédiment calcaire sur celles qui sont éteintes, on obtiendrait exactement la contre-partie du phénomène des potstones de Horstead.

Galets isolés dans la Craie. — Nous avons déjà signalé l'absence habituelle de sable et de cailloux dans la craie blanche ; mais la présence çà et là, dans le sud-est de l'Angleterre, de galets de quartz et de schiste vert, quelques-uns de 5 à 7 centimètres de diamètre, a excité, avec raison, l'étonnement des géologues. Si ce sont les flots de la mer et les courants qui ont charrié ces galets des terres qui bordaient autrefois la mer crétacée aux points où nous les rencontrons

(1) *Geol. Trans.*, 1re série, vol. IV, p. 413. — *On Paramoudra*, etc.

aujourd'hui, comment se fait-il que ni terre ni limon n'aient été entraînés sur les mêmes points dans le même temps? Nous ne saurions admettre non plus que ces cailloux roulés aient été transportés par les glaces comme les blocs erratiques (voy. chap. x et xi), car ce transport ferait supposer l'existence d'un climat froid durant la période Crétacée, supposition qui ne s'accorde pas avec le développement luxuriant des grandes univalves cloisonnées, des nombreux coraux, des poissons et autres fossiles de formes propres aux tropiques, que l'on y rencontre.

Dans l'île Keeling, l'une de ces masses isolées de corail qui s'élèvent de l'océan Pacifique, le Capitaine Ross a observé un fragment détaché de greenstone au sein de roches qui toutes étaient calcaires; M. Darwin en conclut que ce fragment a dû être amené à sa place actuelle par quelque grand arbre dans les racines duquel il serait resté engagé. Chamisso, l'éminent naturaliste qui accompagna Kotzebue, rapporte que les habitants de l'archipel Radack, groupe d'îles à lagunes, situées au milieu du Pacifique, tirent les pierres à aiguiser leurs instruments des racines d'arbres qui viennent échouer sur la plage (1).

On objectera peut-être qu'un mode semblable de transport n'a pu avoir lieu dans la mer crétacée, les arbres fossiles étant rares dans la craie. On en rencontre cependant à l'état friable ou siliceux, précisément sur les points mêmes où existent des galets ; ils ont tout l'air d'avoir flotté jusqu'à une certaine distance, car ils sont ordinairement troués par des mollusques lithophages, tels que le Taret et la Fistulane (2).

Le seul autre mode de transport que l'on puisse admettre est celui qu'auraient opéré des plantes marines. Le Docteur Beck m'a raconté que dans le Lym-Fiord (Jutland) le *Fusus vesiculosus* atteint quelquefois jusqu'à 3 mètres, et que ses branches, partant d'une seule racine, forment une masse de plusieurs mètres de diamètre. Lorsque ses vésicules sont

(1) Darwin, p. 549. *Kotzebue's First Voyage*, vol. III. p. 155.

(2) Mantell, *Geol. of S. E. of England*, p. 96.

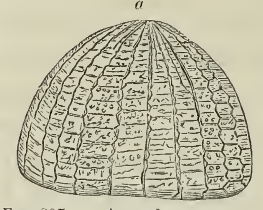
gonflées, la plante devient assez légère pour que des galets d'une certaine grosseur puissent flotter à sa surface et se trouver ainsi transportés assez haut sur le rivage. Le *Fucus giganteus* de Solander (*Macrocystes pyrifera*), si commun dans la Terre de Feu, atteint, d'après la description du Capitaine Cook, la longueur de 110 mètres et celle de 213 mètres au dire du Docteur Hooker, bien que sa tige ne soit pas plus épaisse que le pouce (1) ; on en rencontre souvent des tronçons charriant des coquilles à une distance de plusieurs centaines de kilomètres de la région où végètent ces fucus. M. Darwin rapporte que, durant le voyage du *Beagle*, en 1834, on a trouvé dans les bras de mer intérieurs de la Terre de Feu certaines de ces plantes auxquelles adhéraient si fortement de grosses pierres détachées, qu'on fut obligé de les retirer ensemble du fond de l'eau. Ces pierres étaient si lourdes, qu'une personne seule avait de la peine à les soulever. Des plantes marines se rencontrent dans la formation crétacée, mais jusqu'à présent aucune n'a montré des dimensions aussi considérables.

De ce que les cailloux roulés sont rares dans la craie blanche d'Angleterre et de France, il ne faudrait pas conclure qu'aucune accumulation contemporaine de sable, de gravier et d'argile ne se soit formée dans les mers Européennes ; le grès siliceux, appelé *quader* supérieur par les Allemands, recouvre une craie argileuse blanche, ou *pläner kalk*, qui ressemble par sa composition et ses débris organiques à la marne crayeuse de la série Anglaise. Ce grès contient toutes les coquilles fossiles, communes à notre craie blanche, que l'on peut s'attendre à trouver dans un fond de mer composé de matériaux aussi hétérogènes ; il atteint quelquefois une épaisseur de 180 mètres, et, par sa stratification et ses escarpements verticaux, il contribue, pour la plus grande part, au pittoresque de la Suisse Saxonne, dans les environs de Dresde.

(1) *Flora antarctica*, vol. II, p. 464.

FOSSILES DU TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

Parmi les fossiles de la craie blanche, les échinodermes



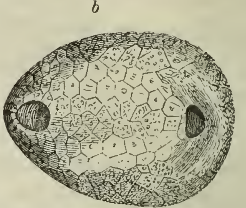


Fig. 287. — *Ananchytes ovata*. Craie blanche, supérieure et inférieure. *a*. Vue de côté. — *b*. Base du test, sur laquelle sont les ouvertures orale et anale ; l'ouverture anale est la plus ronde, et est situé à l'extrémité rétrécie.

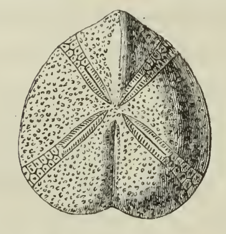


Fig. 288. — *Micraster cor-anguinum*. Craie blanche.

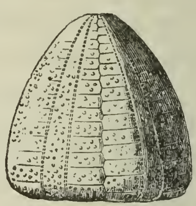
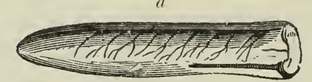


Fig. 289. — *Galerites albogalerus*, Lam. Craie blanche.



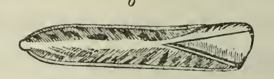


Fig. 290. — *a. Belemnites mucronatus*. Syn. *Belemnitella mucronata*. — *b*. La même, montrant la structure intérieure. Maëstricht, Faxoe et craie blanche.

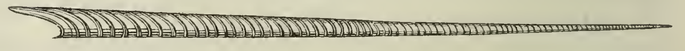


Fig. 291. — *Baculites anceps*. Grès vert supérieur, ou marne chloritique, *craie chloritée*. France. Alc. d'Orb., Terr. Crét.



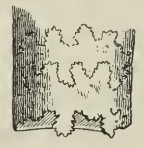


Fig. 292. — Portion du *Baculites Faujasii*. Couches de Maëstricht et de Faxoe, et craie blanche.

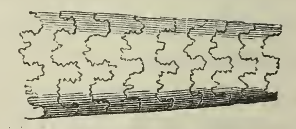


Fig. 293. — Portion du *Baculites anceps*. Couches de Maëstricht et de Faxoe, et craie blanche.

sont très-nombreux, et quelques genres, comme l'*Anan-*

chytes (fig. 287), sont exclusivement crétacés. Dans les crinoïdes, le genre *Marsupites* (fig. 294) est caractéristique.

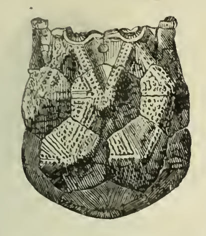


FIG. 294. — *Marsupites Milleri.* Craie blanche.



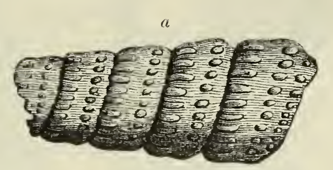
FIG. 295. — *Scaphites æqualis.* Marne chloritique, ou Grès Vert Supérieur. Dorsetshire.

Dans les mollusques, les céphalopodes ou univalves cloisonnées des genres Ammonite, Scaphite, Bélemnite (fig. 290),



FIG. 296. — *Turrilites costatus.* Craie.

FIG. 297.



a. Fragment de *Turrilites costatus.* Marne crayeuse.



b. Le même, montrant le bord dentelé des cloisons.



FIG. 298. *Terebratula striata.* Craie blanche supérieure.



FIG. 299. *Rhynconella octoplicata.* (Var. de *T. plicatilis.*) Craie blanche supérieure.

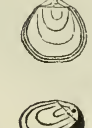


FIG. 300. *Magas pumila* (Sow.) Craie blanche supérieure.



FIG. 301. *Terebratula carnea.* Craie blanche supérieure.

Baculite (fig. 291, 293) et Turrilite (fig. 296, 297), ainsi que d'autres formes voisines des précédentes, diffèrent singuliè-

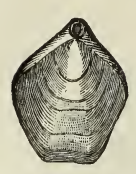


Fig. 302.
Terebratula biplicata. Sow. Crétacé supérieur.



Fig. 303.
Crania Parisiensis, valve inférieure ou adhérente. Craie blanche supérieure.



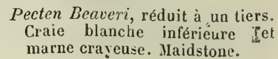
Fig. 304.

Pecten Beaveri, réduit à un tiers. Craie blanche inférieure [et marne crayeuse. Maidstone.



Fig. 305. — *Pecten quinquecostatus.* Craie blanche ; Grès verts supérieur et inférieur.

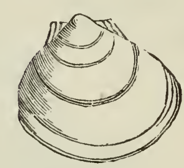


Fig. 306. — *Plagiostoma Hoperi,* Sow. Syn., *Lima, Hoperi.* Craie blanche et Grès vert supérieur.



Fig. 307. — *Lima spinosa,* Sow. Syn.. *Spondilus spinosus.* Craie blanche supérieure.

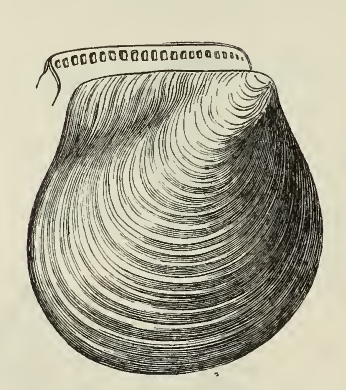


Fig. 308. — *Inoceramus Lamarckii.* Syn., *Catillus Lamarckii.* Craie blanche (*Geol Sussex,* de Dixon, tabl. 28, fig. 29).

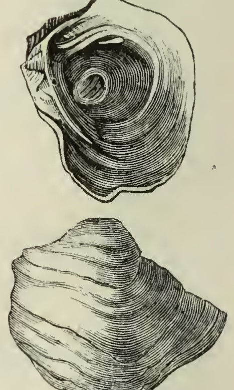


Fig. 309. — *Ostræa vesicularis.* Syn., *Gryphæa globosa.* Craie supérieure et grès vert supérieur.

rement des testacés de la même classe appartenant aux périodes Tertiaire et Récente.

Parmi les brachiopodes de la craie blanche, les térébratules abondent. On sait que ces coquilles vivent au fond de



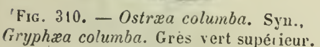


FIG. 310. — *Ostræa columba.* Syn., *Gryphæa columba.* Grès vert supérieur.





FIG. 311. — *Ostræa carinata.* Marne crayeuse. Grès verts supérieur et inférieur.

la mer, dans des eaux tranquilles et suffisamment profondes

FIG. 312.

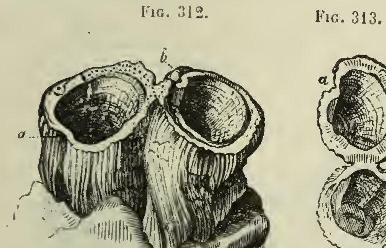


FIG. 313.

FIG. 314.

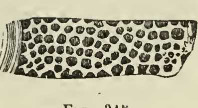


FIG. 315.



Radiolites Mortoni, Mantell. Houghton, Sussex. Craie blanche. Un septième de grandeur naturelle.

FIG. 312. — Deux individus privés de leurs valves supérieures, adhérant l'un à l'autre.
313. — Les mêmes, vus de dessus.
314. — Coupe transversale d'une portion de la paroi de la coquille, grossie pour montrer la structure.
315. — Coupe verticale de la même.

Sur le côté où la coquille est le plus mince, existent un sillon extérieur et une saillie intérieure correspondante (*a*, *b*, fig. 312-313); mais ces caractères sont ordinairement moins accusés que ne le représentent les figures. Cette espèce a d'abord été rapportée par Mantell aux *Hippurites;* elle l'a été ensuite au genre *Radiolites*. Je n'ai jamais vu la valve supérieure. L'échantillon ci-dessus figuré a été découvert par feu Dixon.

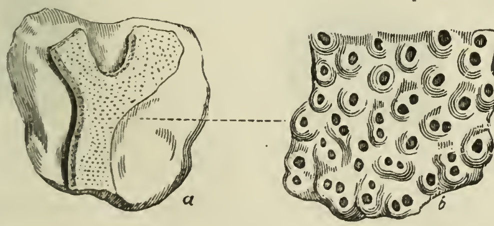


FIG. 316. — *Eschara disticha.* — *a.* Grandeur naturelle. — *b.* Portion grossie. Craie blanche.

(fig. 298 à 302). On leur trouve associées quelques espèces d'huîtres (fig. 309 à 311) et d'autres bivalves (fig. 303 à 307).

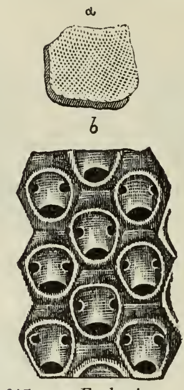


Fig. 317. — *Escharina oceani.* a. Grandeur naturelle. — b. Portion grossie. Craie blanche.

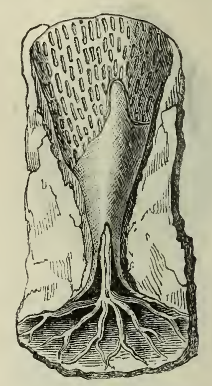
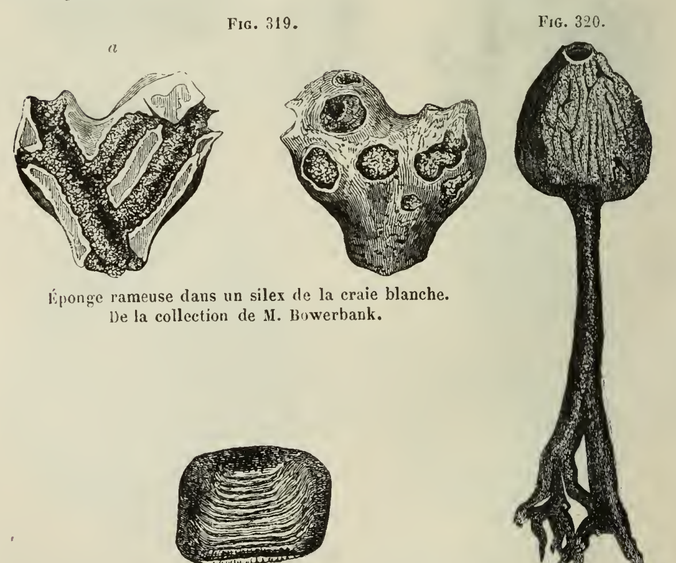


Fig. 318. — *Ventriculites radiatus*, Mantell Syn., *Ocellaria radiata*, d'Orb. Craie blanche.

Fig. 319.

Fig. 320.



Éponge rameuse dans un silex de la craie blanche. De la collection de M. Bowerbank.

Fig. 321. — Dent palatine du *Ptychodus decurrens.* Craie blanche inférieure. Maidstone.

Siphonia pyriformis. Couches de Blackdown.

Aucune forme de mollusque bivalve ne caractérise d'une manière plus frappante l'ère crétacée en Europe, en Amé-

rique et dans l'Inde, que le genre éteint *Inoceramus* (*Catillus*, Lam., fig. 308) ; les coquilles de ce genre se distinguent par une texture fibreuse, et souvent on ne les rencontre qu'à l'état de fragments, ce qui prouve qu'elles étaient extrêmement friables.

De la singulière famille appelée *Rudistes* par Lamarck, et que nous mentionnerons plus loin comme extrêmement caractéristique de la craie dans l'Europe méridionale, on n'a découvert jusqu'à présent qu'un seul représentant (fig. 312) dans la craie blanche d'Angleterre.

A ces mollusques sont associés divers bryozoaires tels que *Eschara* et *Escharina* (fig. 316, 317), également marins et indiquant pour la plupart une mer profonde. Ces corps organiques et d'autres, spécialement des éponges telles que *Ventriculites* (fig. 318), se trouvent indifféremment dans la craie tendre ou dans les silex durs; quelques-uns des nodules siliceux doivent leur irrégularité aux éponges qu'ils renferment, comme le démontre la figure 319, *a*, où des creux extérieurs ont été laissés par les branches d'une éponge qu'a mise à découvert la fracture du nodule (fig. 319, *b*).

Les débris de poissons dans les formations Crétacées Supérieures consistent principalement en dents de la famille des requins, et se rapportent à des genres dont les uns sont communs au terrain tertiaire et les autres distincts de ce terrain. A ces derniers appartient le genre *Ptychodus* (fig. 321), voisin du requin actuel de Port-Jackson, *Cestracion Phillippi*, dont les dents antérieures (fig. 322, *a*) sont aiguës et tranchantes, tandis que les dents postérieures ou palatines *b* sont plates et analogues à celles de notre fossile (fig. 321).

On remarque dans cette division une absence complète d'ossements d'animaux terrestres ou fluviatiles et de plantes terrestres ; on n'y rencontre que des plantes marines, et çà et là quelques tronçons de bois flotté. Toutes ces indications conduisent à conclure que la craie blanche s'est formée dans une mer ouverte d'une profondeur considérable.

L'existence, dans la craie blanche de Maidstone, de tortues et de sauriens ovipares, ainsi que d'un ptérodactyle ou lézard ailé, implique nécessairement le voisinage de quelque terre, de petits îlots disséminés sur l'océan, comme l'Ascension, jadis si fréquentée par des troupes émigrantes

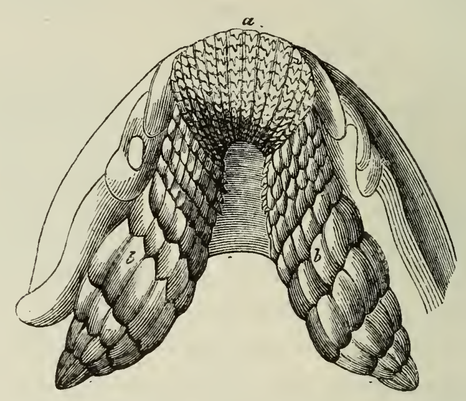


FIG. 322. — *Cestracion Phillippi,* vivant. Port Jackson, Buckland, Bridgewater Treatise, pl. 27, *d.*

de tortues, et qui auront servi de retraites à ces animaux pour y déposer leurs œufs dans le sable; quant aux espèces volantes, elles auront été entraînées par les vents à la mer. Nous connaissons peu la végétation de ces sortes d'îles, mais elle devait se composer en partie de Cycadées, car le Capitaine Ibbetson a trouvé dans la marne crayeuse de l'île de Wight un échantillon appartenant à cette famille, et que M. Ad. Brongniart a rapporté au *Clathraria Lyellii*, Mantell, espèce commune à la période Wealdienne antérieure.

Le Ptérodactyle de la craie de Kent offrait des dimensions colossales; ses ailes avaient 5 mètres d'envergure. Quelques-uns de ses os allongés ont été pris, dans les premiers temps, pour des os d'oiseaux; mais aucun fragment bien authentique, appartenant à cette dernière classe, n'a encore été rencontré dans la craie blanche, bien qu'on en ait trouvé dans le Grès Vert Supérieur (voir page suivante).

Grès Vert Supérieur (A. 4, Tableau, p. 496). — Dans

le sud de l'Angleterre, la craie inférieure sans silex passe graduellement, vers le bas, à un calcaire argileux (marne crayeuse), dans laquelle apparaissent les ammonites et autres céphalopodes, si rares au sein des parties supérieures de la série. A ce dépôt marneux succèdent des couches appelées Grès Vert Supérieur, qui contiennent des particules vertes, sableuses, d'un minéral chloritique. Sur certains points, dans le Surrey, la matière calcaire est en forte proportion, et forme une roche appelée *Firestone* (pierre à feu). Dans les falaises de la côte méridionale de l'île de Wight, ce Grès Vert Supérieur présente une épaisseur de 30 mètres, et contient des bandes de calcaire siliceux et de grès calcaire avec nodules de chert.

MM. Austen et D. Sharpe regardent le Grès Vert Supérieur comme un dépôt littoral de l'Océan Crétacé, contemporain, par conséquent, d'une partie de la marne crayeuse, et peut-être même d'une partie de la craie blanche. En effet, lorsque les terres vinrent à s'abaisser et la mer crétacée à étendre ses limites, du limon blanc et du sable chloritique continuèrent à se déposer ; mais la ligne de rivage dut varier continuellement de position, et, bien que le dépôt de sable et de limon fût simultané et s'effectuât, pour l'un, près des côtes, et pour l'autre, à une certaine distance, partout où la plage se trouva submergée, le sable put constituer le dépôt inférieur.

Gault. — Le membre inférieur du groupe Crétacé Supérieur, qui dans le S.-E. de l'Angleterre atteint d'ordinaire 30 mètres de puissance, a reçu le nom de *Gault.* C'est une marne d'un bleu foncé, quelquefois mêlée de grès vert, et qui contient plusieurs formes particulières de céphalopodes, telles que *Hamite* (fig. 325) et *Scaphite*, avec d'autres fossiles caractéristiques de cette formation qui, bien que présentant une épaisseur comparativement faible, peut être suivie à l'aide de ses débris organiques en Europe jusqu'à de très-grandes distances, jusqu'aux Alpes par exemple.

Les *couches de Blackdown* dans le Devonshire, célèbres par

plusieurs espèces de fossiles que l'on ne rencontre dans aucune autre localité, ont été généralement rapportées au Grès Vert Supérieur, parce qu'elles lui ressemblent par leur caractère minéralogique, mais M. Sharpe les considère avec raison comme un équivalent du Gault, et pense qu'elles se

FOSSILES DU GRÈS VERT SUPÉRIEUR.

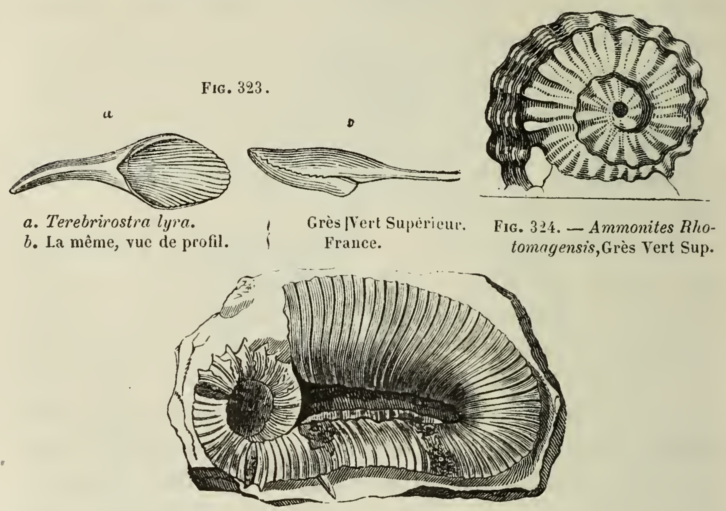


FIG. 323.

a. Terebrirostra lyra.
b. La même, vue de profil. } Grès Vert Supérieur. France.

FIG. 324. — *Ammonites Rhotomagensis*, Grès Vert Sup.

FIG. 325. — *Ancyloceras spinigerum*, d'Orb. Syn., *Hamites spiniger*, Sow. Environs de Folkstone. Gault.

sont formées le long d'une côte, sur les points plus profonds de laquelle se déposait le limon fin appelé Gault. Plusieurs des espèces fossiles de Blackdown, comme la *Trigonia caudata* (fig. 334), sont communes au Crétacé Inférieur. M. d'Archiac nous apprend qu'en France, à Mons, dans la vallée de la Loire, se trouvent certaines couches de grès vert, contemporaines de celles de Blackdown, et qui contiennent un grand nombre de fossiles identiques. Il regarde cette formation comme étant également d'origine littorale (1).

Le phosphate de chaux que l'on rencontre près de Farnham, Surrey, et aux environs de Cambridge, en si grande abondance que l'agriculture l'emploie comme engrais, existe dans

(1) *Histoire des progrès de la Géologie* etc., vol. IV, p. 360, 1851.

le Grès Vert Supérieur. Sans aucun doute, il est d'origine animale, et résulte en partie de coprolites de poissons et de reptiles. Dans cette formation près de Cambridge, feu M. Louis Barrett découvrit, en 1858, les restes d'un oiseau plus grand que le pigeon commun, probablement de l'ordre des nageurs, et qui avait, comme la plupart des oiseaux de la tribu des Goëlands, les ailes très-développées. Les restes obtenus étaient des portions du métacarpe, du métatarse, un tibia et un fémur, et les déterminations de M. Barrett ont été confirmées par le Professeur Owen.

FLORE DU CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

On rencontre fort rarement les plantes terrestres de cette période dans les roches du crétacé supérieur d'Europe, qui sont, pour la plupart, d'origine marine et formées dans la profondeur des eaux, loin des rivages les plus rapprochés. Aix-la-Chapelle fournit cependant une exception importante à cette observation, car, aux environs de cette ville, certains sables blancs de 12 mètres d'épaisseur contiennent des restes de plantes terrestres dans un magnifique état de conservation. Ces plantes recueillies avec soin et étudiées par M. Debey méritent une attention particulière, car elles offrent le seul exemple connu d'une flore terrestre plus ancienne que celle de l'Eocène, et dans laquelle les grandes divisions du règne végétal sont représentées en proportions presque égales à celles qui composent la flore de nos jours. Le D[r] Debey porte le total des espèces à plus de deux cents, dont soixante-sept cryptogames, du genre fougère principalement. Il a pu déterminer parfaitement vingt espèces, qui étaient munies de leurs fruits, et des cicatrices de l'écorce font présumer qu'une ou deux étaient des fougères arborescentes. Sur treize genres, trois sont encore vivants, savoir : *Gleichenia,* habitant aujourd'hui le Cap de Bonne-Espérance et la Nouvelle-Hollande ; *Lygodium*, vivant actuellement au Japon,

à Java et dans l'Amérique du Nord ; et l'*Asplenium*, forme cosmopolite. Parmi les plantes phénogames les conifères abondent ; les plus communs appartiennent à un genre appelé Cycadopteris par Debey, que l'on peut difficilement séparer du Sequoia ou Wellingtonia, et dont les cônes et les branches sont conservés. Dans mon voyage à Aix, je trouvai quantité de bois silicatisés de cette plante, dispersés dans les sables blancs des carrières situées aux environs de cette ville ; dans un seul de ces troncs on a compté 200 anneaux de croissance annuelle. On y a rencontré des espèces d'Araucaria semblables à celles d'Australie, fort peu de Monocotylédones, et très-rarement des Cycades. On n'y a reconnu avec certitude aucune espèce de palmier, mais on y a parfaitement distingué le genre Pandanus. Les nombreux Angiospermes Dicotylédones forment le caractère le plus saillant de cette flore si ancienne (1).

Parmi ces derniers on remarque les formes connues du chêne, du figuier, du noyer (*Quercus*, *Ficus*, *Juglans*), ce dernier avec des feuilles et des noix, ainsi que plusieurs genres de Myrtacées. Mais l'ordre prédominant est celui des

(1) Dans ces remarques et les suivantes sur les plantes fossiles, j'emploierai souvent la terminologie du D[r] Lindley, comme plus familière dans ce pays ; mais celle de M. A. Brongniart étant beaucoup plus usitée, j'ai jugé utile, pour les géologues, de réunir dans un tableau les noms comparés des groupes qui reviennent si fréquemment en *Paléontologie*.

	BRONGNIART.	LINDLEY.	
Cryptogames...	1. Amphigènes cryptogames ou cryptogames cellulaires.	Thallogènes.	Lichens, plantes marines, fungus.
	2. Acrogènes cryptogames	Acrogènes..	Mousses, equisetums, fougères, lycopodes, lepidodendron.
Phanérogames..	3. Dicotylédones gymnospermes	Gymnogènes.	Conifères et cycadées.
	4. Dicotylédones angiospermes	Exogènes....	Composées, légumineuses, umbellifères, crucifères, bruyères, etc. Tous les grands arbres natifs d'Europe, excepté les conifères.
	5. Monocotylédones.	Endogènes..	Palmiers, liliacées, aloès, joncs, graminées, etc.

Protéacées, dont on compte de 60 à 70 espèces, de genres éteints pour la plupart, et dont quelques-unes se rapportent aux formes vivantes que voici : — Dryandra, Grevillea, Hakea, Banksia, Persoonia, appartenant toutes à la flore actuelle d'Australie, et Leucospermum, espèce qui se présente au Cap sous forme de petits buissons.

L'épiderme des feuilles de la plupart de ces plantes d'Aix, spécialement des Protéacées, est si bien conservé dans une enveloppe mince d'argile, qu'on peut apercevoir au microscope les stomates ou cellules polygonales, avec leur arrangement particulier, identique à celui que l'on sait caractériser certaines Protéacées vivantes (la Grevillea, par exemple). Parfois un mélange de Fucoïdes et de Zostères atteste, comme les coquilles, la présence de l'eau salée.

Quant aux insectes, le Dr Debey en a obtenu dix espèces des familles des Curculionides et des Carabiques.

L'âge de ces couches qui renferment une réunion si remarquable de plantes, a été pendant longtemps matière à discussion. Dans l'origine, ces dépôts furent rapportés à tort au Tertiaire Moyen et plus tard à la série du Crétacé Inférieur, mais en réalité ils sont les équivalents de la craie blanche et de la Marne Crayeuse, ou Sénonien de d'Orbigny. Telle était l'opinion de Römer en 1853, et en explorant la contrée en 1857, j'ai pu me convaincre par moi-même qu'il était dans le vrai, bien que les sables blancs siliceux des lits inférieurs et les grains verts de la portion supérieure de la formation constituent une différence, sous le rapport minéralogique, entre ces couches et notre craie blanche.

En allant de Maëstricht vers Aix-la-Chapelle, on passe d'abord des couches de Maëstricht à la craie blanche avec silex, formant une épaisseur de 90 mètres environ. Immédiatement après, on trouve, dans un ordre descendant, de la craie sans silex et de la marne crayeuse ; puis, au-dessous, du grès vert, renfermant des *Belemnitella mucronata* (fig. 290), et

(1) F. Römer, *Kreidebildung der Gegend von Aachen. Deutsch. Geol. Gesellsch*, VII, 534.

d'autres fossiles montrant que cette couche n'est pas l'équivalent du Grès Vert Supérieur d'Angleterre. A un étage plus inférieur apparaissent sur une épaisseur de 120 mètres les sables blancs et jaunes d'Aix, qui reposent immédiatement sur des roches anciennes du Devonien, fortement inclinées. Ce sable, dans les lits inférieurs, s'est condensé en masses solides de grès, analogues au Sandstein Quader d'Allemagne.

On rencontre, dans cette localité, des lits intercalés d'argile fine, avec des plantes fossiles, des veines de lignite, même de la houille parfaite et du bois flotté, contenant des coquilles perforantes, telles que le Pholas et la Gastrochœna. Quelques couches d'un calcaire brun jaunâtre s'y montrent également, avec des coquilles marines, qui nous permettent d'identifier les lits inférieurs avec les lits à plantes supérieurs. Parmi ces coquilles, on distingue le *Pecten quadricostatus* et plusieurs autres espèces communes à la partie supérieure et inférieure de la série, ainsi qu'une Trigonia, appelée *T. alaeformis* par quelques naturalistes d'Aix, qui, suivant la remarque que m'en fit M. Bosquet, concorde bien mieux par ses caractères avec une coquille de la craie blanche, la *T. limbata* de d'Orbigny. En somme, les restes organiques et la position géologique des couches montrent distinctement qu'il existait aux environs d'Aix-la-Chapelle un golfe de l'ancienne mer crétacée, bornée par un terrain formé de roches Devoniennes. Ces roches consistaient en lits quartzeux et schisteux ; les premières fournissaient du sable blanc et les secondes du limon argileux à la rivière qui se jetait là dans la mer, en charriant dans ses eaux bourbeuses des quantités de bois flotté et des feuilles de plantes. Parfois, quand le courant diminuait, des coquilles marines des genres *Trigonia*, *Turritella*, *Pecten*, etc., s'établissaient sur ces mêmes points, et au fond du lit poussaient des plantes alliées aux *Zostères* et aux *Fucus*.

Avant la découverte de la flore crétacée d'Aix-la-Chapelle,

on ne connaissait que quelques feuilles d'une dicotylédonée et d'un genre angiosperme, appelé *Crednaria*, qu'on avait trouvées dans les *Quader Sandstein* et *Plæner Kalk* d'Allemagne, roches correspondant en âge avec la craie blanche et le Gault d'Angleterre. Ces plantes fossiles étaient même, dans les roches plus anciennes que la période Éocène, les seuls représentants de ces Exogènes qui constituent aujourd'hui les trois quarts de la végétation vivante du globe.

Lorsque M. Adolphe Brongniart divisa toute la série fossilifère en trois groupes, fondés uniquement sur leurs rapports avec les plantes fossiles, il nomma le premier de ces groupes, *âge des acrogènes;* le second, exclusivement composé de crétacées, *âge des gymnospermes;* et le troisième, comprenant le crétacé et le tertiaire, *âge des angiospermes*. Ce naturaliste considère la flore crétacée comme présentant un caractère transitoire entre la végétation secondaire et la végétation tertiaire. Les conifères et les cycadées (ou Gymnogènes) existaient à cette époque comme au temps des formations oolithiques et triasiques; mais, outre ces plantes, on a reconnu, dans la formation, des feuilles parfaitement distinctes d'un dicotylédone angiosperme. Mais aujourd'hui que les plantes fossiles d'Aix-la-Chapelle sont rapportées avec certitude à une phase du Crétacé Supérieur, la ligne de démarcation entre les époques des gymnospermes et des angiospermes sépare aussi les formations du Crétacé Inférieur de celle du Crétacé Supérieur, ou bien les Grès Verts Inférieurs des sables d'Aix-la-Chapelle.

La ressemblance de la flore d'Aix avec les flores tertiaires et vivantes, relativement à la proportion des angiospermes dicotylédones comparée à celle des gymnogènes, soulève une question théorique d'un très-grand intérêt, car on ne peut affirmer que l'existence de ces plantes d'Aix ait précédé l'extinction de la faune des roches secondaires, si riche en reptiles. Les Ichthyosaurus, Pterodactylus et Mosasaurus étaient contemporains du chêne, du noyer et du figuier. On a souvent hasardé des hypothèses basées sur la rareté des Exo-

gènes dans les roches anciennes correspondant avec un certain état de l'atmosphère ; on a supposé qu'un air plus dense avait contrarié dans les premiers temps la croissance des plantes d'un ordre supérieur et le développement des animaux à respiration fréquente, tels que les mammifères et les oiseaux, tandis que cette atmosphère aurait été favorable à une flore cryptogamique et gymnosperme, ainsi qu'à la prédominance de la vie reptile. Mais nous savons aujourd'hui que l'existence d'une végétation analogue à celle de notre globe actuel n'offre aucune incompatibilité avec les formes les plus remarquables de certains reptiles éteints de l'âge des gymnospermes.

Pour le moment, le passage de la flore du Crétacé Inférieur à celle du Crétacé Supérieur pourra paraître un peu brusque, mais cette transition deviendra moins sensible à mesure qu'on aura des connaissances plus étendues sur la végétation fossile du Grès Vert Inférieur et sur celle du Gault et du Grès Vert Inférieur.

CALCAIRE A HIPPURITES.

Différence entre la craie du nord et celle du midi de l'Europe. — A l'aide des trois caractères qui servent à distinguer l'âge relatif, savoir : la superposition, la nature minéralogipue et les fossiles, le géologue peut hardiment rapporter à la même période Crétacée certaines roches du nord et du midi de l'Europe, qui diffèrent cependant d'une manière notable par leurs débris organiques, leur composition et leur structure.

Si nous essayons de suivre les dépôts crétacés depuis l'Angleterre et la France jusqu'au littoral de la Méditerranée, nous verrons d'abord que la craie et le grès vert des environs de Londres et de Paris forment une vaste masse continue, car le Pas-de-Calais, interruption insignifiante, n'est après tout qu'une vallée flanquée de falaises crayeuses sur ses deux côtés. Nous remarquerons ensuite que le massif principal de craie

qui environne Paris s'étend de Tours à Poitiers (fig. 326, dans laquelle les portions ombrées représentent la craie).

Entre Poitiers et la Rochelle, l'espace indiqué A sépare deux régions crayeuses. Il est occupé par l'Oolithe et quelques autres formations plus anciennes que la Craie ; M. E. de Beaumont suppose qu'il formait jadis une île dans la mer crétacée. Au midi du même espace, on rencontre une formation que nous assimilerons par ses caractères minéralogiques à la craie, bien que, sur certains points, la roche passe à la structure oolithique. Les fossiles de cette formation et ceux de la craie sont, en somme, parfaitement semblables, surtout certaines espèces des genres *Spatangus*, *Ananchytes*, *Cidarites*, *Nucula*, *Ostrea*, *Gryphæa* (*Exogyra*), *Pecten*, *Plagiostoma* (*Lima*), *Trigonia*, *Catillus* (*Inoceramus*) et *Terebratula* (1). Mais, comme le fait observer M. d'Archiac, les *Ammonites*, dont on rencontre de si nombreuses espèces dans la craie du nord de la France, sont toujours très-rares dans la région du sud : les genres *Hamite*, *Turrilite* et *Scaphite*, peut-être aussi la *Bélemnite*, y manquent totalement.

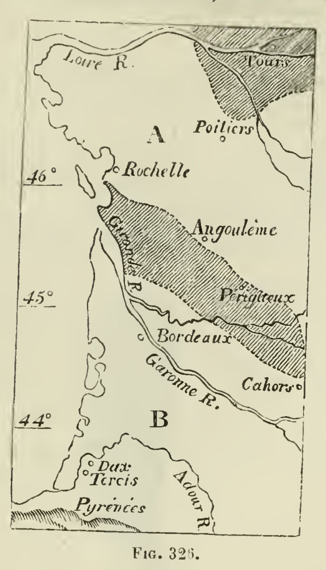


Fig. 326.

D'un autre côté, certaines formes communes dans la région méridionale de la France sont rares ou manquent totalement dans la région septentrionale, particulièrement plusieurs *Hippurites*, *Sphérulites* et autres membres de la grande famille des *Rudistes* (Lamarck), laquelle n'offre aucun représentant dans la création vivante, mais caractérise tout

(1) D'Archiac, *Sur la Form. Crét. du sud-ouest de la France* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, t. II).

à fait les roches crétacées dans le midi de la France, en

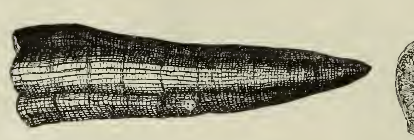






FIG. 327. — *a*. *Radiolites radiosus*, d'Orb. — *b*. Valve supérieure du même. Craie blanche de France.

FIG. 328. — *Radiolites foliaceus*, d'Orb. Syn., *Sphærulites agariciformis*, Blainv. Craie blanche de France.

Espagne, en Sicile, en Grèce et dans d'autres contrées bordant la Méditerranée.

L'espèce appelée *Hippurites organisans* (fig. 329) est

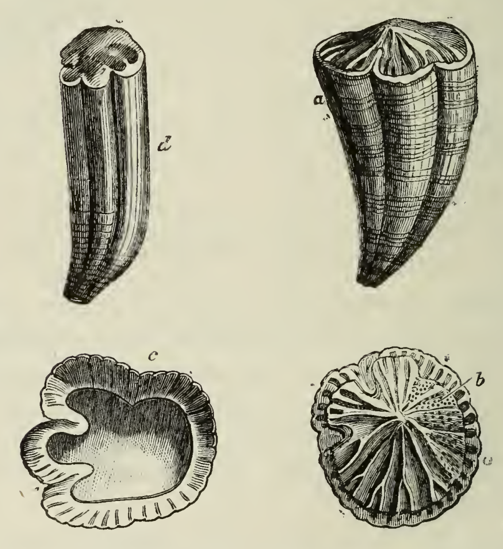


FIG. 329. — *Hippurites organisans*, Desmoulins. Craie supérieure. — Marne crayeuse des Pyrénées ? (1).

a Jeune individu ; à l'état de développement complet, les coquilles se groupent en adhérant latéralement les unes aux autres. — *b*. Face supérieure de la valve supérieure, montrant une disposition réticulée sur les pointe *b* où l'on a ôté la croûte extérieure. — *c*. Extrémité supérieure, autrement dite ouverture de la valve inférieure, cylindrique. — *d*. Moule intérieur de la valve conique inférieure.

plus abondante qu'aucune autre dans le midi de l'Europe ; le

(1) D'Orbigny, *Paléontologie française*, pl. 533.

géologue doit donc se familiariser avec la forme représentée par le moule *d*, beaucoup plus commun dans divers marbres compactes de la période Crétacée Supérieure que la coquille même, laquelle a souvent disparu totalement. Les cannelures et côtes arrondies, lisses, longitudinales, de la forme intérieure, dans cette espèce d'Hippurite, sont tout à fait différentes de celles de l'extérieur, et atteignent, chez quelques individus, de grandes dimensions en longueur et en largeur.

Entre la région crayeuse sur laquelle est situé Périgueux, et les Pyrénées, intervient un autre espace, B (fig. 326), occupé par des couches tertiaires qui cachent les roches crétacées, excepté sur les points où celles-ci ont été mises à découvert par la destruction des formations plus récentes. Sur ces points, les roches crétacées présentent encore tous les caractères particuliers à la craie blanche, mais elles sont pénétrées de grains verts. Jusqu'à Tercis, sur l'Adour, près de Dax, M. Grateloup a trouvé, au sein des couches, l'*Ananchytes ovata* (fig. 287, p. 512), et d'autres fossiles de la craie d'Angleterre, en même temps que des *Hippurites*.

ROCHES CRÉTACÉES DANS LES ÉTATS-UNIS.

Si nous nous transportons sur le continent d'Amérique, nous trouverons dans l'État de New-Jersey une série de couches sableuses et argileuses qui diffèrent du tout au tout de notre système Crétacé Supérieur, et que nous pourrons néanmoins, au point de vue paléontologique, classer dans la même division.

MM. Morton et Conrad, qui ont étudié les fossiles de ces couches en 1834, ont estimé qu'elles étaient, en général, du même âge que la craie et le grès vert d'Europe. La formation consiste principalement en grès vert et en marne verte que recouvre un calcaire corallin jaune pâle ; les fossiles se rapportent, pour la plupart, à ceux de nos séries Européennes, depuis les lits de Maëstricht jusqu'à ceux du

gault inclusivement. J'ai recueilli moi-même, en 1841, soixante coquilles des dépôts du New-Jersey; cinq d'entre elles étaient identiques avec nos espèces d'Europe : c'étaient l'*Ostrea larva*, *O. vesicularis*, *Gryphæa costata*, *Pecten quinque-costatus* et *Belemnites mucronatus*. Comme quelques-unes de ces coquilles présentent en Europe un très-grand développement dans le sens vertical, il ne faut pas s'étonner de les voir reparaître plus fréquemment que les autres dans les régions du globe les plus éloignées. Même lorsque les espèces diffèrent, on reconnaît dans les formes génériques un caractère décidément crétacé, comme chez les Baculites, certaines Ammonites, l'*Inoceramus* (fig. 308) et plusieurs autres bivalves. Quinze des soixante espèces précitées sont regardées par M. Forbes comme d'excellents représentants géographiques de fossiles crétacés bien connus d'Europe. On trouvera ces rapports déjà passablement intimes si l'on considère que la région des États-Unis où la formation existe, est située à 5 ou 6,000 kilomètres de la craie de l'Europe centrale et septentrionale, et qu'il y a une différence de 10° de latitude entre les points que l'on compare, d'un bord de l'Atlantique à l'autre (1).

Les poissons des genres *Lamna*, *Galeus* et *Carcharodon,* et les reptiles du genre *Mosasaurus* sont communs aux couches de New-Jersey et aux roches crétacées d'Europe. On y joint souvent le *Plesiosaurus*, reptile connu dans la craie Anglaise, et dont, suivant le Docteur Harlan, on aurait rencontré une vertèbre dans la marne crétacée de Mullica Hill, New-Jersey. Mais le Docteur Leidy a démontré que l'os en question provenait non pas d'un saurien, mais d'un cétacé, et l'on ne sait pas encore d'une manière certaine s'il doit être rapporté ou non à une haute antiquité. La découverte d'un autre mammifère de la tribu des veaux marins (*Stenorhynchus vetus*, Leidy) dans un lit inférieur de la série crétacée du New-Jersey, paraît mieux constatée (2).

(1) Voyez un Mémoire par l'auteur: *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. I, p. 79.
(2) Dans les *Principes de Géologie*, 9e édition, p. 145, j'ai cité le Docteur

Du New-Jersey, la formation crétacée s'étend au sud, jusqu'à la Caroline du Nord et à la Géorgie, traversant par intervalles les couches tertiaires entre les monts Apalaches et l'Atlantique. Elle contourne ensuite l'extrémité de cette chaîne, dans l'Alabama et le Mississipi, et revient par le nord dans le Tennessee et le Kentucky. On l'a reconnue dans le haut de la vallée du Missouri, par le 48e degré de latitude, c'est-à-dire vers le fort Mandan, de telle sorte, qu'avec les limites qu'on lui a déjà tracées jusqu'à ce jour dans l'Amérique du Nord, elle égale peut-être en étendue la formation crétacée d'Europe, et excède, aux États-Unis, le développement des terrains fossilifères de tout autre âge. Cette formation diffère tellement de la craie blanche d'Europe par le caractère minéralogique, que, dans l'Amérique du Nord, la pierre à chaux (*limestone*) ne se trouve que par exception. Dans l'Alabama même, où j'ai vu un membre calcaire de ce groupe, composé de pierres marneuses, il ressemblait plus au Lias d'Angleterre et de France qu'à un autre dépôt secondaire d'Europe.

A la base du système, dans l'Alabama, j'ai observé des masses épaisses de cailloux, entièrement meubles, provenant

Leidy de Philadelphie comme ayant décrit (*Proceed. of Acad. Nat. Sc. Philad.*, 1851) deux espèces de cétacés originaires du grès vert du New-Jersey, et constituant un nouveau genre qu'il avait appelé *Priscodelphinus*. En 1853, j'ai vu, à Philadelphie, les deux vertèbres d'après l'examen desquelles ce genre avait été fondé ; avec l'aide de M. Conrad, j'ai assigné l'une d'elles à une exploitation de marne *Miocène* du comté de Cumberland, New-Jersey. L'autre vertèbre (le *Plesiosaurus d'Harlan*), étiquetée dans le musée : *Mullica Hill*, est sans aucun doute un fossile crétacé, si véritablement elle provient de la localité indiquée ; mais son état minéralogique suscite des doutes à ce sujet. La dent de *Stenorhynchus vetus* figurée par Leidy, d'après un dessin de Conrad (*Proceed. of Acad. Nat. Sc. Phil.*, 1853, p. 377), a été trouvée par Samuel R. Wetherill, Esq., dans le grès vert, à environ 2 kilomètres et demi sud-est de Burlington. Ce naturaliste nous a raconté, à M. Conrad et à moi, les circonstances dans lesquelles il l'a rencontrée : elle était associée avec les *Ammonites placenta*, *Ammonites Delawarensis*, *Trigonia thoracica*, etc. La dent a été égarée, mais elle avait déjà excité beaucoup d'intérêt et avait été examinée avec soin par d'habiles zoologistes.

de la dégradation des roches paléozoïques (ou carbonifères), et que l'on ne pouvait distinguer de l'alluvion ordinaire que par leur position ; elles étaient recouvertes de marnes où abondaient les *Inocérames*.

Dans le Texas, selon F. Römer, la craie présente encore un autre caractère lithologique, et se compose en grande partie d'un calcaire dur siliceux, mais les débris organiques ne laissent aucun doute sur son âge : ce sont le *Baculites anceps* et dix autres espèces communes à l'Europe. Les plantes fossiles du New-Jersey et autres, obtenues des roches crétacées par MM. Meek et Hayden dans le territoire de Nebraska, comprennent, suivant le Docteur Newberry, plusieurs genres d'Angiospermes dicotylédones, comme la flore d'Aix-la-Chapelle, ci-dessus décrite, p. 525.

Dans l'Amérique du Sud, à Bogota, Colombia et ailleurs, on a découvert des couches contenant des Ammonites, Hamites, Inocérames et autres coquilles caractéristiques (1).

Dans le Sud de l'Inde, à Pondichéry, Verdachellum et Trinconopoly, MM. Kaye et Egerton ont recueilli des fossiles appartenant au système crétacé. Comparés avec ceux des États-Unis, ils prouvent, dit M. Forbes, que les causes qui ont imprimé un cachet particulier aux formes des animaux marins de cette période ont prévalu à la fois dans les mers de l'Inde, de l'Europe et de l'Amérique (2). Dans cette région comme dans le Nord et le Sud de l'Amérique, on reconnaît aisément le caractère crétacé, même en l'absence de toute identité spécifique entre les fossiles, et l'on peut en dire autant, quant au type organique, des roches qui, en Europe et dans l'Inde, touchent la Craie, soit dans l'ordre ascendant, soit dans l'ordre descendant, comme celles de l'Éocène et de l'Oolithe.

(1) *Proceed. of the Geol. Soc.*, vol. IV, p. 391.
(2) Forbes, *Quart. Geol. Journ.*, vol. I, p. 79.

CHAPITRE XVIII

FORMATIONS CRÉTACÉES INFÉRIEURE ET WEALDIENNE.

Grès Vert Inférieur. — Néocomien. — Coupe d'Atherfield (île de Wight). — Fossiles du Grès Vert Inférieur. — Relations paléontologiques des couches du Crétacé Supérieur et du Crétacé Inférieur. — Formation Wealdienne. — Couches d'eau douce intercalées entre deux groupes marins. — Argile du Weald et Sable de Hastings. — Roches de Tunbridge. — Coquilles fossiles, poissons et plantes du Weald. — Leurs rapports avec le type Crétacé. — Étendue géographique du Weald. — Mouvements dans la croûte terrestre auxquels le Weald doit son origine et sa submersion.

On avait généralement donné le nom de *Grès Vert Inférieur* à la portion de la série Crétacée plus ancienne que le Gault, mais on s'est plaint, et non sans raison, des inconvénients d'une dénomination qui s'appliquait à des couches dont un grand nombre en Angleterre et dans d'autres contrées de l'Europe manquent de particules vertes. De plus, une sous-division du groupe Crétacé Supérieur avait également reçu le nom de Grès Vert, et, pour éviter toute confusion, on avait dû introduire dans la science les termes de Grès Vert Supérieur et Grès Vert Inférieur. Ces désignations semblaient impliquer comme valeur une sorte de parité qui n'existe pas, car le Grès Vert Inférieur, dans la plus large acception du mot, comprend une série presque aussi importante que le groupe Crétacé Supérieur tout entier, depuis le Gault jusqu'aux couches de Maëstricht inclusivement, tandis que le Grès Vert Supérieur n'est qu'un membre subordonné de ce même groupe. Quelques géologues éminents ont donc proposé de remplacer le nom de Grès Vert Inférieur par celui de *Néocomien*, emprunté au développement considérable que présentent près de Neuchâtel (Neocomum), en Suisse, ces couches du Grès Vert Inférieur, un des éléments principaux des montagnes du

Jura. Les mêmes géologues classent les couches du Weald dans le *Néocomien Inférieur*, classification qui nous paraîtra rationnelle lorsque nous expliquerons les rapports intimes qui existent entre les fossiles du Grès Vert Inférieur et ceux du Weald.

Le Docteur Fitton, dans sa monographie de la formation Crétacée Inférieure (ou Grès Vert) de l'Angleterre, donne le tableau suivant de la succession des roches dans quelques parties du comté de Kent :

N° 1.	Sable, blanc, jaunâtre ou ferrugineux, avec concrétions calcaires et chert..........................	21 mètres.
2.	Sable avec matière verte................................	21 à 30 mètres.
3.	Pierre calcaire, appelée Rag de Kent............	18 à 24 mètres.

Dans sa description détaillée de la belle coupe d'Atherfield, au sud de l'île de Wight, on remarque l'absence complète du calcaire ; en somme, les variations dans la composition minérale de ce groupe, même dans des districts contigus, sont très-grandes ; et, quand on compare les couches d'Atherfield avec celles de Hythe (Kent), à une distance de 150 kilomètres, on voit que la série, dans son ensemble, offre un aspect très-différent (1).

D'un autre côté, M. Forbes a démontré que dans les soixante-trois couches d'Atherfield, dont l'épaisseur totale est de 275 mètres, quelques fossiles sont répandus dans toute la série, et d'autres sont particuliers à telle ou telle division. Comme preuve de l'identité chronologique de l'ensemble du système, il a établi que, toutes les fois que des conditions semblables se reproduisent dans les couches formées en dernier lieu, les mêmes espèces reparaissent. Les changements dans la profondeur ou dans la nature minérale du lit de la mer, la présence ou l'absence de chaux

(1) Docteur Fitton, *Quart. Geol. Journ.*, vol. I, p. 173 ; II, p. 55, et III, p. 289. L'auteur donne dans ce travail des coupes comparatives et un tableau montrant la disposition, dans le sens vertical, des divers fossiles du Grès Vert Inférieur, à Atherfield.

ou de peroxyde de fer, l'existence d'un fond boueux, sablonneux ou graveleux, coïncident avec l'exclusion de certaines espèces et la prédominance de quelques autres. Mais ces différences de conditions sont, de leur nature, minérales, chimiques et locales ; elles n'ont pu amener l'extinction de certains animaux ni de certaines plantes dans un périmètre étendu. La règle que propose cet éminent naturaliste pour reconnaître l'établissement d'un nouvel ordre de choses dans le monde animé, est basée sur la représentation des genres correspondants de mollusques et autres êtres organiques par des espèces nouvelles et différentes. Lorsque les formes propres à un sable meuble ou à une argile molle, à un fond calcaire ou pierreux, à une eau basse ou de profondeur considérable, reviennent avec l'ensemble de toutes les mêmes espèces, le temps qui s'est écoulé pendant l'accumulation a dû être, géologiquement parlant, très-court, quelque considérable que soit la masse accumulée. Mais si, les genres restant les mêmes, les espèces ont changé, on est en droit de supposer une nouvelle période, et alors ni ressemblance de climat, ni similitude de conditions géographiques ou locales ne peuvent plus rappeler les espèces anciennes qu'une longue série de causes destructives, agissant sur le monde animé ou inanimé, ont graduellement anéanties. En passant du Grès Vert Inférieur au Gault, on rencontre tout à coup un de ces changements de période, car presque aucune des espèces fossiles n'est commune aux systèmes crétacés supérieur et inférieur ; cet hiatus ne laisse aucun doute sur l'absence de plusieurs chaînons dans la série des monuments géologiques ; peut-être un jour pourrons-nous les rattacher.

L'une des coquilles les plus abondantes dans les couches tout à fait inférieures du Grès Vert Inférieur d'Atherfield est la grande *Perna Mulleti* dont nous donnons ici la figure réduite (fig. 330).

Dans le sud de l'Angleterre, pendant l'accumulation du Grès Vert Inférieur, le lit de la mer paraît avoir baissé

d'une manière continue, depuis le commencement de la période où les couches d'eau douce du Weald furent submergées, jusqu'au dépôt des couches sur lesquelles le Gault repose immédiatement.

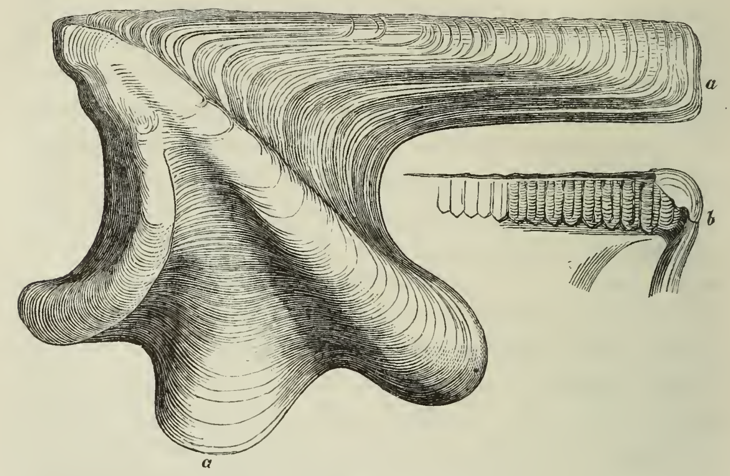


Fig. 330. — *Perna Mulleti*, Desh. et Leym.
a. Extérieur. — *b*. Portion de charnière de la valve supérieure.

Des galets de grès quartzeux, de jaspe, de schiste siliceux, en même temps que des grains de chlorite et de mica, indi-

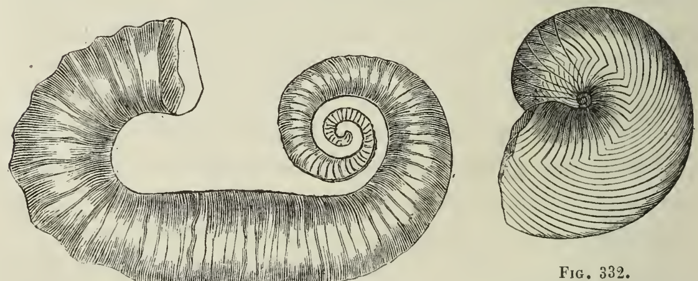


Fig. 331. — *Ancyloceras gigas*, d'Orb.

Fig. 332. *Nautilus plicatus*, Sow., dans la *Monographie* de Fitton.

quent suffisamment la nature des roches préexistantes, dont la destruction donna naissance aux couches de Grès Vert. La submersion du sol, composé de ces roches, fut sans aucun

doute antérieure à la formation de la craie blanche, dont le dépôt dut s'effectuer dans une mer plus ouverte et dans des eaux plus limpides.

Les fossiles du Crétacé Inférieur diffèrent, pour la plupart, spécifiquement, de ceux du Crétacé Supérieur.

Parmi les premiers, on rencontre fréquemment le genre *Scaphites* (fig. 331) ou *Ancyloceras*, décrit à juste raison comme une ammonite plus ou moins développée; un *Nautilus* sillonné, *Nautilus plicatus* (fig. 332), la *Trigonia caudata* (fig. 334), qui se trouve également dans



FIG. 333. — *Gervillia anceps*, Lesh. Grès Vert Inférieur.

FIG. 334. — *Trigonia caudata*, Agass. Grès Vert Inférieur.

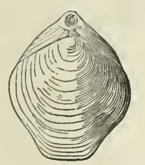


FIG. 335. — *Terebratula sella*, Sow. Grès Vert Inférieur.

les lits de Blackdown; une *Gervillia*, genre bivalve voisin de l'*Avicula*, et une coquille remarquable, le *Diceras Lonsdalii*, éminemment caractéristique des lits ferrugineux du Grès Vert Inférieur à Wilts.

Ce genre est étroitement allié au *Chama*, et l'on a comparé sa disposition intérieure aux cornes d'un bouc; cette

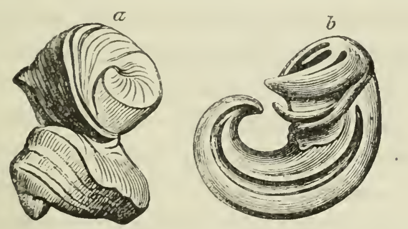


FIG. 336. — *Diceras Lonsdalii*. Grès Vert Inférieur. Wilts.
a. Coquille bivalve. — *b*. Forme intérieure.

coquille a été rapportée par certains auteurs au *Caprotina* et par d'autres au *Requienia*.

Relations paléontologiques des roches des Crétacés Supérieur et Inférieur. — L'analyse des tables que M. Etheridge a dressées des fossiles de la série Crétacée de la Grande-Bretagne, a fait prendre au Professeur Ramsay les conclusions suivantes : premièrement, un grand nombre d'espèces sont communes aux différentes sous-divisions du groupe Crétacé Supérieur, telles que le Gault, le Grès Vert Supérieur, la Craie Blanche, etc.

Secondement, il existe une grande lacune entre les séries du Crétacé Supérieur et de l'Inférieur, car sur 280 espèces provenant de restes d'animaux de toutes sortes recueillis dans le Crétacé Inférieur, 233 sont particulières, et 51, ou 18 pour 100 seulement, passent du Grès Vert Inférieur, au Gault et aux couches sus-jacentes.

Le même géologue ajoute : « Cette succession interrompue et cette disparition de si nombreuses espèces sont accompagnées d'un hiatus analogue dans la stratification des couches. On sait, en effet, qu'autour du Weald, dans les rares points de jonction qu'on a pu examiner, on a observé le Gault reposant sur des surfaces usées du Grès Vert Supérieur, tandis que, dans les régions occidentales et moyennes de l'Angleterre, à l'ouest et au nord de la grande formation calcaire, les recouvrements brusques et fréquents du Grès Vert Supérieur par le Gault établissent avec certitude que la formation supérieure repose en stratification discordante sur le lit inférieur, et le temps employé pour la dénudation ne nous est représenté par aucune formation stratifiée (1). » A côté des différences considérables que l'on remarque dans les restes organiques des roches des Crétacés Supérieur et Inférieur, les séries de cette période, considérées au point de vue paléontologique, forment un ensemble indépendant, dans lequel on trouve à peine une espèce commune à la série oolithique qui a précédé ces formations, ou à la série Éocène qui les a suivies. Ainsi, d'après les tableaux ci-dessus

(1) Ramsay, *Anniversary Address, Geol. Quart. Journ.*, vol. XX, p. 58.

mentionnés, on compte 521 espèces appartenant à la craie supérieure d'Angleterre, et toutes, à l'exception du *Terebratula caput-serpentis* et de quelques Foraminifères, avaient disparu avant le commencement de l'époque Éocène, représentée par les sables de Thanet.

D'autre part, quand on compare les couches marines inférieures ou d'Atherfield de la série Crétacée avec les couches marines de l'oolithe supérieure, on trouve qu'aucune espèce Britannique ne passe de l'une à l'autre de ces formations, et nous savons que ce changement dans le monde organique coïncide avec ce laps énorme de temps, pendant lequel se sont déposées les formations d'eau douce du Weald et du Purbeck, dont l'épaisseur surpasse 450 mètres.

FORMATION WEALDIENNE.

Au-dessous du Grès Vert Inférieur, on observe, dans le S.-E. de l'Angleterre, une formation d'eau douce qu'on nomme Weald (n°s 5 et 6, fig. 355). Bien que son étendue horizontale en Europe soit limitée, comparativement à la Craie Blanche et au Grès Vert, cette formation présente un grand intérêt géologique, car les restes organisés qu'elle contient jettent quelque lumière sur la nature de la faune et de la flore terrestre de l'époque Crétacée Inférieure. On a donné le nom de Wealdien à ce groupe, parce qu'il a été primitivement étudié dans certaines parties des comtés de Kent, de Surrey et de Sussex, appeléés Weald (voir la carte, fig. 355). Le Docteur Mantell montra dès 1822, dans sa *Géologie du Sussex*, que le groupe entier était d'origine fluviatile. S'appuyant sur l'absence totale des Ammonites, Bélemnites, Térébratules, Échinites, Coraux et autres fossiles marins qui caractérisent si bien les roches crétacées situées au-dessus et les couches oolithiques gisant au-dessous, ce savant fit ressortir, par contre, la présence dans le Weald des Paludines, Mélanies et autres coquilles fluviatiles, ainsi

que des ossements de reptiles terrestres, et des troncs et feuilles de plantes de même provenance.

Cette position si inattendue d'une masse épaisse d'origine d'eau douce au-dessous d'un dépôt formé dans une mer profonde constituait un phénomène avec lequel nous nous sommes familiarisés depuis, mais qui fut d'abord accueilli avec incrédulité. Cependant la situation relative des lits ne permettait pas l'équivoque ; on voyait distinctement l'argile du Weald passer au-dessous du Grès Vert Inférieur en différents endroits des comtés de Surrey, de Kent et de Sussex, et reparaître dans l'île de Wight à la base de la série Crétacée, s'étendant probablement au-dessous de la surface du pays, comme l'indiquent les lignes ponctuées du diagramme que nous reproduisons ici (fig. 337).

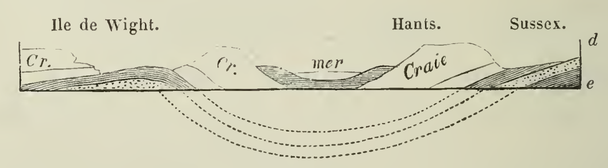


Fig. 337.
a. Craie. — *b.* Grès Vert. — *c.* Argile du Weald. — *d.* Sable de Hastings. *e.* Couches du Purbeck.

Le Weald peut se diviser en deux sous-groupes :

	ÉPAISSEUR LA PLUS GRANDE CONNUE.
1° Argile du Weald, argile schisteuse bleue et brune, renfermant quelquefois des lits minces de sable et de calcaire coquillier avec *Paludina*	182 mètres.
2° Sable de Hastings, principalement arénacé, mais dans lequel on trouve accidentellement de l'argile et des grès grossiers calcaires (1)	225 mètres.

Dans le S.-E. de l'Angleterre, immédiatement au-dessous du Weald, on rencontre une autre formation d'eau douce appelée le Purbeck, consistant en différentes sortes de calcaire et de marne, et contenant des espèces particulières de mollusques, *Cypris* et autres fossiles. Comme il est aujour-

(1) Docteur Fitton, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. IV, p. 320.

d'hui constaté que cette formation appartient plutôt, par ses débris organiques, à la série Oolithique qu'à la série Crétacée, nous en parlerons dans le chapitrre xx.

Argile du Weald.

La division supérieure, ou Argile du Weald, doit exclusivement son origine à l'eau douce ; non-seulement ses lits supérieurs concordent par leur stratification avec les couches inférieures du Grès Vert Inférieur, mais encore ils sont d'une composition minérale tout à fait semblable. Pour expliquer ce fait, on suppose que le delta d'une grande rivière étant en voie d'abaissement assez tranquille pour permettre à la mer d'empiéter sur l'espace occupé primitivement par l'eau douce, la rivière continuait néanmoins de charrier les mêmes sédiments à la mer. Ce qui appuie cette supposition, c'est que des restes de l'*Iguanodon Mantelli,* reptile terrestre gigantesque qui caractérise parfaitement le Weald, ont été découverts près de Maidstone dans le Rag de Kent, ou calcaire marin du Grès Vert Inférieur qui est au-dessus du Weald ; quelques-uns des sauriens qui habitaient le pays arrosé par la grande rivière auraient donc continué d'exister après que ce pays eut été submergé par la mer. C'est ainsi que, de nos jours, des ossements d'énormes alligators sont ensevelis dans les couches d'eau douce du delta du Gange. Mais qu'une portion de ce delta, venant à s'abaisser, se trouve couverte par les eaux de la mer, des formations marines s'accumuleront sur l'emplacement même où se déposaient des lits d'eau douce, pendant que le Gange continuera de lancer ses eaux troubles dans la même direction et de porter vers la mer les squelettes des mêmes espèces d'animaux ; ces débris se trouveront ainsi enfouis à la fois dans des couches d'eau salée et dans des couches d'eau douce sous-jacentes.

L'iguanodon, qui a été découvert par le Docteur Mantell, a laissé plus de débris dans les couches Wealdiennes des

comtés du S.-E. et de l'île de Wight qu'aucun autre des genres de sauriens qui lui sont associés. Ce reptile était herbivore, et, selon Cuvier, le plus extraordinaire qui ait jamais existé; ses dents, quoiqu'elles offrent une grande analogie, par leur forme générale et leurs bords crénelés (fig. 338, *a*, et 338, *b*) avec celles des Iguanes qui fréquentent aujourd'hui les bois des tropiques dans l'Amérique et les Indes occidentales, présentent cependant des différences frappantes. Souvent elles ont été usées par la mastication, tandis que les reptiles herbivores actuels coupent et rongent les végétaux dont ils se nourrissent, mais ne les mâchent pas; si leurs dents ont été fréquemment amincies, elles ne sont jamais surmontées, comme celles de l'Iguanodon fossile, d'une couronne plane ayant servi à la trituration (fig. 338, *b*) et qui donnait à la dent une ressemblance

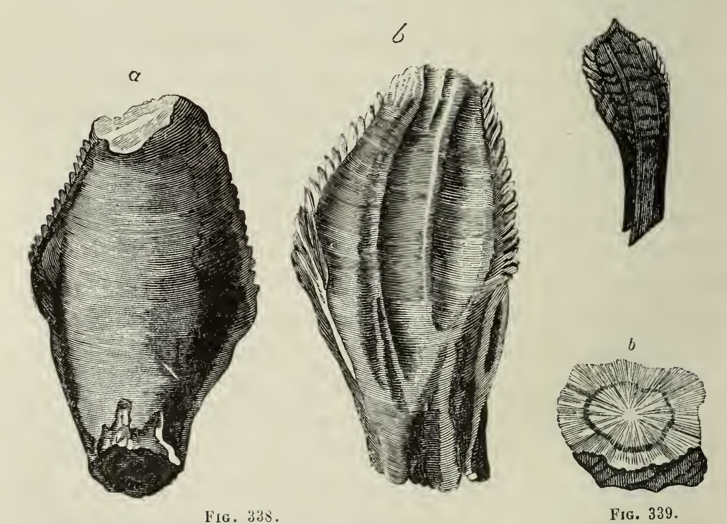


Fig. 338. Fig. 339.

Fig. 338. *a*, *b*. Dent de l'*Iguanodon Mantelli*.

Fig. 339. *a*. Dent, en partie usée, d'un jeune individu de la même espèce.
b. Couronne de la dent, à l'âge adulte, usée en bas. (Mantell.)

avec les molaires des mammifères herbivores. Le Docteur Mantell calcule que les dents et ossements de cette espèce qu'il a examinés pendant vingt ans ont appartenu à plus de

soixante et onze individus différents d'âge et de taille, quelques-uns sortis à peine de l'œuf, et d'autres dont le fémur mesurait environ 0m,60 de circonférence. Cependant, bien que les dents se rencontrent plus abondamment que tous les autres os du squelette, il est remarquable qu'on n'ait trouvé que fort tard un seul exemple de débris de mâchoire. Plus récemment on a découvert des restes des mâchoires supérieure et inférieure dans les couches de Hastings, forêt de Tilgate; les proportions de l'animal sont un peu plus considérables qu'on ne l'avait d'abord supposé. Le Docteur Mantell, qui ne s'entend pas avec le Professeur Owen quant aux dimensions de la queue, estime que la longueur de ces sauriens pouvait être de 15 à 18 mètres. Le plus grand fémur qu'on ait trouvé mesure 1m,422 de long sur 0m,625 de circonférence, et 1m,050 autour des condyles.

On rencontre accidentellement des bancs de calcaire (marbre de Sussex) dans la craie du Weald; ils sont presque entièrement composés d'une espèce de *Paludina* qui ressemble beaucoup à la *P. vivipara* commune des rivières d'Angleterre.

Les coquilles de *Cypris*, genre abondant dans les lacs et dans les étangs, sont aussi répandues à profusion dans l'ar-

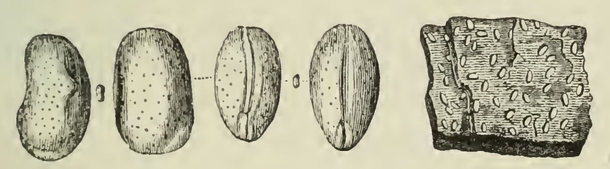


FIG. 340. — *Cypris spinigera*, Fitton.

FIG. 341. — *Cypris Valdensis*, Fitton. (*C. faba*, Min. Con., 485.)

FIG. 342. — Argile du Weald avec Cypris.

gile du Weald; elles impriment quelquefois à la roche une structure finement lamellaire, comme le font les paillettes de mica (fig. 342). Les mêmes marnes à Cypris existent dans les couches tertiaires lacustres d'Auvergne (voy. ci-dessous, p. 359).

Sables de Hastings.

Cette division inférieure du Weald consiste en sable, grès (*grit*) calcifère, argile et schiste. Les couches argileuses, malgré le nom donné au dépôt, l'emportent tant soit peu sur les couches arénacées, comme on le verra dans le tableau suivant, dressé par M. Drew et Foster, ingénieurs du gouvernement de la Grande-Bretagne.

	Noms des formations subordonnées.	Composition minérale des couches.	Épaisseur en mètres.
Sables de Hastings	Sables de Tunbridge Wells.	Grès et vase............	45
	Argile de Wadhurst........	Schiste bleu et brun, et argile avec un peu de grès calcaire................	30
	Sable d'Ashdown..........	Sable durci avec des lits de grès calcaire...........	48
	Couches d'Ashburnham.....	Argile plastique, blanche et rouge avec du grès......	100

La localité appelée *High Rocks* et autres environs de Tunbridge empruntent leur pittoresque à l'escarpement naturel des falaises, provenant d'une couche de sable blanc, que l'on rencontre dans la partie supérieure des sablières de Tunbridge. Suivant M. Drew, l'épaisseur de ce lit de sable rocheux (*rock-sand*) varie de 7 à 14 mètres. Ces masses, qui ne sont ni dures ni exploitables comme pierres de construction, constituent néanmoins des roches saillantes à faces perpendiculaires et qui résistent à l'action destructrice de la rivière, parce qu'elles forment, dit M. Drew, une masse solide sans aucuns plans divisionnaires (1). Le grès calcaire et grit de la Forêt de Tilgate, près de Cuckfield, où le Dr Mantell a découvert pour la première fois des débris de l'Iguanodon et de l'Hylæosaure, constituent le membre supérieur des sablières de Tunbridge ; le sable rocheux des falaises de Hastings, qui a 30 mètres d'épaisseur, est l'un des membres inférieurs de la même formation. Les reptiles y sont très-abondants ; ils se rapportent en partie à des sauriens dont Mantell et Owen ont déjà fait huit

(1) Quart. *Geol. Journ.* 1861, vol. XVII, p. 274.

genres parmi lesquels on remarque, indépendamment de ceux dont il a déjà été question, le Mégalosaure et le Plésiosaure. Les mêmes couches fournissent le Ptérodactyle, reptile volant, et divers débris de Chéloniens des genres *Emys* et *Trionyx*, confinés de nos jours dans les régions tropicales.

La plupart des poissons du Weald se raportent aux ordres des Ganoïdes et des Placoïdes. On y trouve en grand nombre des dents et des écailles du *Lepidotus* (fig. 343).

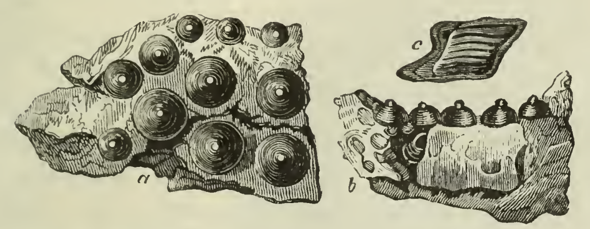


FIG. 343. — *Lepidotus Mantelli*, Agass. Weald.
a. Palais et dents. — *b*. Les dents vues de côté. — *c*. Écaille.

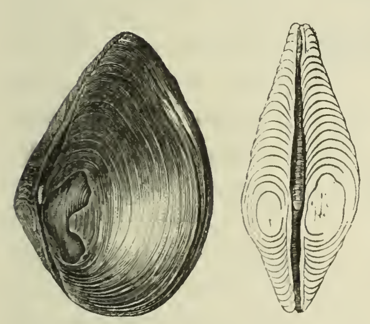


FIG. 344. — *Unio Valdensis*, Mant. Ile de Wight et Dorsetshire ; dans les lits inférieurs des Sables de Hastings.

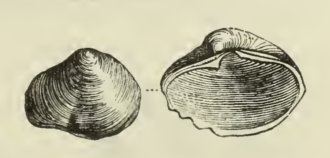


FIG. 345. — *Corbula alata*, Fitton, grossie. Dans les lits de formation d'eau saumâtre des Sables de Hastings, baie de Punfield.

Ces Ganoïdes étaient alliés au *Lepidosteus* ou Brochet-Gar des rivières d'Amérique. Leur corps était entièrement recouvert de larges écailles rhomboïdales très-épaisses et à surface émaillée. On pense que la plupart des espèces de ce genre hantaient les rivières ou la mer à l'embouchure des baies.

Les coquilles des couches de Hastings appartiennent aux genres *Mélanopsis*, *Melania*, *Paludina*, *Cyrena*, *Cyclas*,

Unio (fig. 344) et autres, qui habitent les rivières ou les lacs ; mais on a trouvé à Punfield, comté de Dorset, un banc qui indique des eaux saumâtres où vivaient les genres *Corbula* (fig. 345), *Mytilus* et *Ostrea*. Dans quelques endroits, le lit prend un caractère complétement marin par ses fossiles dont la plupart sont particuliers et plusieurs communs au Grès Vert Inférieur ; tels sont les *Ammonites Deshayesii*. Ces faits démontrent les rapports intimes qui lient entre elles les faunes des périodes Wealdienne et Crétacée.

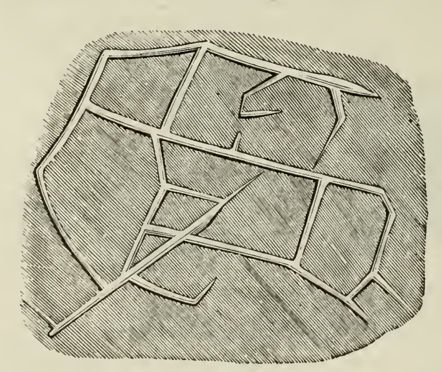


FIG. 346. — Face inférieure d'une plaque de grès, d'environ $0^{m},90$ de diamètre. Stammerham. Sussex.



FIG. 347. — *Sphenopteris gracilis*, Fitton, des Sables de Hastings, près de Tunbridge Wells. *a*. Portion grossie.

A différentes hauteurs des sables de Hastings, on observe çà et là de petites plaques de grès marquées de rides profondes, et, entre elles, des lits d'argile de plusieurs mètres d'épaisseur. A Stammerham, près d'Horsham, on remarque que l'argile a séché et s'est fendillée avant que le lit suivant se soit déposé à sa surface. Dans ces fissures ont pu se former, comme dans des moules, des reliefs qui sont encore visibles sur la surface inférieure du grès (fig. 346).

Non loin de la même localité, se trouve une pierre rougeâtre dans laquelle on reconnaît des traces innombrables d'un fossile végétal, apparemment le *Sphenopteris*, dont les tiges et les branches sont arrangées comme si les plantes

conservaient encore leur position naturelle ; le sable paraît les avoir entourées et couvertes en se déposant tranquillement. Des faits analogues ont été observés sur plusieurs points de la formation (1). Dans la même division du Weald, à Cuckfield, existe un lit de gravier ou conglomérat composé de cailloux de quartz et de jaspe usés par les eaux, avec ossements roulés de reptiles. Ces produits ont dû être transportés par un courant, probablement dans une eau peu profonde.

On peut conclure de ces faits que, malgré la grande épaisseur de cette division du Weald, l'ensemble du dépôt a été formé dans une eau modérément profonde et, dans la plupart des cas, extrêmement basse. L'idée paraîtra un peu hardie de prime abord ; elle n'exprime cependant que la conséquence naturelle d'un affaissement général et continu d'une baie dans laquelle une grande rivière déchargerait ses eaux troubles. Pour chaque décimètre d'affaissement, la roche fondamentale baisserait d'un décimètre au-dessous de la surface des eaux, mais la baie ne s'approfondirait pas, si un nouveau dépôt de boue ou de sable s'élevait d'un décimètre sur le fond. Ces sortes de couches, au contraire, se dessèchent souvent à marée basse et peuvent même se couvrir temporairement de végétation particulière aux marais.

Étendue du Weald. — On ne saurait préciser l'étendue géographique du Weald, parce que des formations marines plus nouvelles en cachent une portion considérable. On lui assigne environ 320 kilomètres de l'ouest à l'est, de la côte du Dorsetshire jusqu'aux environs de Boulogne en France, et à peu près 320 kilomètres du nord-ouest au sud-est, depuis les comtés de Surrey et de Hampton jusqu'à Beauvais. Si la formation est continue dans toute cette étendue, ce qui est très-douteux, il ne s'ensuit pas que tout dans l'ensemble soit de même âge, car la géographie physique

(1) Mantell, *Geol. of S. E. of England*, p. 244.

du pays a éprouvé probablement des modifications fréquentes pendant la durée de cette période, et l'estuaire a pu changer plusieurs fois de forme et même de place. Le Docteur Dunker, de Cassel, et M. H. Von Meyer, dans une excellente monographie des Wealds, du Hanovre et de la Westphalie, ont démontré que les représentants de ce terrain dans les deux pays correspondent si exactement avec la série Anglaise par leurs fossiles et leurs caractères minéralogiques, qu'on ne saurait hésiter à rapporter le tout à un même grand delta. En admettant qu'il en soit ainsi, le développement du dépôt n'excéderait pas celui de plusieurs rivières modernes, celui du Quorra ou Niger en Afrique, par exemple, qui s'étend à plus de 270 kilomètres à l'intérieur et occupe un espace de plus de 480 kilomètres le long de la côte, couvrant ainsi une étendue égale à la moitié de l'Angleterre (1). Nous ignorons jusqu'à quelle distance le sédiment fluviatile et les restes organiques des rivières et des terres peuvent être transportés de la côte et répandus sur le lit de la mer. J'ai montré, en parlant du Mississipi, qu'un delta plus ancien, renfermant des espèces de coquilles semblables à celles qui habitent aujourd'hui la Louisiane, s'était jadis rehaussé de manière à occuper une vaste étendue géographique, tandis qu'un delta plus nouveau était en voie de formation (2). Quand on recherche l'origine du Weald, il est important de tenir compte de la possibilité de tels mouvements et des effets qu'ils déterminent.

Si l'on nous demande où était situé le continent dont les ruines ont formé les couches du Weald et dont les eaux alimentaient une grande rivière, nous ne sommes pas éloigné, pour répondre, de recourir à l'existence primitive de l'Atlantide de Platon. La submersion d'un ancien continent, quelque fabuleuse qu'elle paraisse au point de vue histo-

(1) Fitton, *Geol. of Hastings*, p. 58 ; l'auteur cite les *Voyages* de Lander.

(2) Voyez ci-dessus, p. 136, et *Second Visit to the United States*, vol. II, ch. XXXIV.

rique, constitue, géologiquement parlant, un fait qui a dû se renouveler souvent.

La difficulté véritable consiste dans l'existence prolongée d'un vaste bassin hydrographique d'où seraient partis, pour se rendre à la mer, des volumes d'eau considérables, précisément à une époque où le sol voisin du Weald s'affaissait, dans le sens perpendiculaire, de 300 mètres et même davantage. Si les terres adjacentes avaient participé à ce mouvement, comment auraient-elles évité la submersion, comment encore auraient-elles pu conserver leur forme et leur hauteur, de manière à continuer d'être le point de départ d'une quantité si inépuisable d'eau douce et de sédiment? Il faut admettre que la terre limitrophe resta stationnaire ou même subit un certain exhaussement ; il put se produire un mouvement ascendant dans une région et un mouvement contraire dans une région parallèle et contiguë, absolument comme aujourd'hui la partie Nord de la Scandinavie s'élève, tandis que la partie centrale (au sud de Stockholm) reste fixe, et que l'extrémité sud de la Scanie s'abaisse, ou, pour mieux dire, s'est abaissée pendant la période historique (1). Nous devons néanmoins conclure, si nous adoptons cette hypothèse, que la dépression des terres fut générale sur la plus grande partie de l'Europe à la fin de la période Wealdienne, et que cette dépression servit à contenir l'Océan crétacé.

La flore du Weald et du Grès Vert Inférieur est caractérisée par une grande abondance de Conifères, de Cycadées et de Fougères, et par l'absence de feuilles et de fruits de dicotylédones angiospermes. La découverte, en 1855, de Gyrogonites ou vaisseaux à spores du Chara, dans les couches d'Hastings, île de Wight, a fourni un lien qui manquait auparavant entre la flore secondaire et la flore tertiaire.

(1) Voir de Lyell, l'*Anniv. Address Geol. Soc.*, 1850 (*Quart. Geol. Journ.*, vol. VI, p. 52).

CHAPITRE XIX

DÉNUDATION DE LA CRAIE ET DU WEALD.

Géographie physique de certains districts composés de couches Crétacées et Wealdiennes. — Lignes de falaises crayeuses intérieures sur la Seine en Normandie. — Piliers et aiguilles de craie encore debout. — Dénudation de la craie et du Weald, dans les comtés de Surrey, de Kent et de Sussex. — Craie jadis continue des Downs du Nord aux Downs du Sud. — Axe anticlinal et crêtes parallèles. — Vallées longitudinales et transversales. — Escarpements de Craie. — Exhaussement et dénudation graduels des couches. — Crêtes formées par les lits plus durs et vallées produites par les couches plus molles. — A quelle époque doit-on rapporter la dénudation de la vallée du Weald? — Pourquoi ne trouve-t-on ni alluvion ni débris de craie dans le district central du Weald? — Périodes successives de la dénudation marine. — La dernière de ces périodes postérieure à celle du Miocène Supérieur. — Lits à éléphants de Brighton. — Rocher de Sangatte. — Les grands escarpements et les vallées transversales de craie sont dus principalement à l'envahissement et au retrait de la mer. — Inutilité de causes paroxysmales pour expliquer la configuration extérieure du Weald.

Le géologue doit étudier les formations fossilifères sous deux points de vue différents : d'abord sous celui de leur situation dans la série, de leur caractère minéralogique et des fossiles qu'elles renferment ; ensuite sous celui de leur géographie physique ou de la place qu'elles tiennent habituellement, comme masses minérales, dans la structure intérieure de la terre, soit qu'elles occupent le fond des lacs ou des mers, ou bien qu'on les trouve à la surface ou à la base des montagnes et des vallées, des plaines ou des plateaux. Après avoir donné des détails sur les couches Tertiaires, Crétacées et Wealdiennes, nous allons examiner certains traits de la géographie physique de ces groupes, tels qu'on les observe dans quelques parties de l'Angleterre et de la France.

Les collines composées de craie blanche, dans le sud-est de l'Angleterre, sont arrondies à leur surface et doucement

inclinées sur leurs flancs. Généralement consacrées au pâturage, elles sont dépourvues d'arbres et de haies, ce qui permet d'observer comment les vallées qui les avoisinent se ramifient dans toutes les directions, et deviennent, à mesure qu'elles descendent, plus larges et plus profondes. Quoique la plupart de ces vallées soient aujourd'hui presque à sec, excepté pendant les fortes pluies et la fonte des neiges, elles ont dû leur origine à une dénudation par les eaux, comme nous l'avons expliqué au chapitre VI ; elles ont été creusées à l'époque où la craie émergeait graduellement de la mer. A l'appui de cette opinion, nous invoquerons la présence de ces longues lignes de falaises intérieures où les couches sont coupées abruptement et forment des précipices souvent verticaux. La véritable nature de ces escarpements n'est nulle part plus facile à reconnaître que dans certains cantons de la Normandie, où la Seine et ses tributaires coulent à travers de profondes vallées encaissées par des couches de craie horizontales. Si l'on suit, par exemple, ce fleuve sur une longueur de 48 kilomètres, depuis les Andelys jusqu'à Elbeuf, on longe une vallée dont les versants, formés de craie avec nombreux lits de silex, sont verticalement à nu sur une hauteur d'environ 75 à 90 mètres. Au-dessus de la craie repose une masse de sable, de gravier et d'argile, de 10 à 30 mètres d'épaisseur. Les deux coupes *a* et *b* (fig. 348), qui font voir

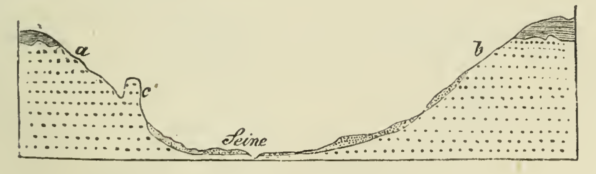


FIG. 348. — Coupe à travers la vallée de la Seine.

la craie à la surface, sont séparées l'une de l'autre par un intervalle de 3 à 6 kilomètres ; elles sont souvent tout à fait nues et unies comme les plus escarpées de nos collines (*downs*) en Angleterre ; mais, sur plusieurs points, elles sont coupées par une ou plusieurs rangées d'escarpements à pic

ou même en surplomb, que constitue la craie blanche avec silex. On voit, d'espace en espace, des aiguilles séparées et des sortes de pitons qui s'élèvent dans la ligne d'escarpement ou devant cette ligne comme en *c* (fig. 348). Sur la rive

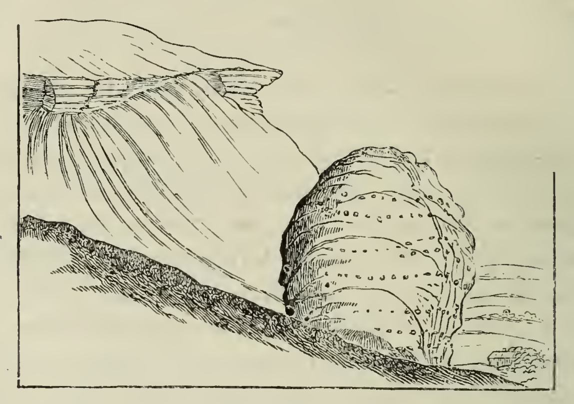


Fig. 349. — La Tête d'homme, Andelys, vue d'en haut.

droite de la Seine, aux Andelys, on remarque une rangée d'escarpements analogues sur une longueur d'environ 3 kilomètres et sur 15 à 30 mètres de hauteur perpendiculaire;

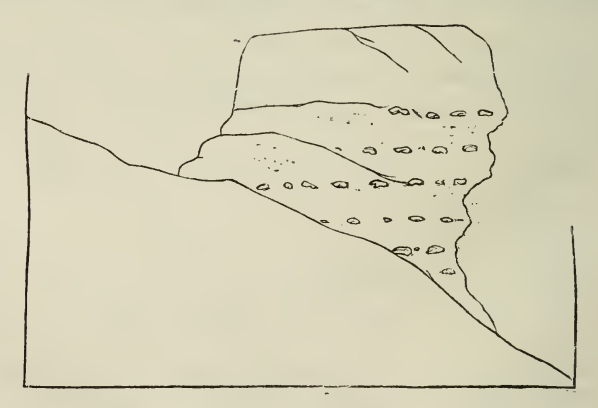


Fig. 350. — Vue d'un côté de la Tête d'homme. Craie blanche à silex.

elle est interrompue dans sa direction par plusieurs vallons secs ou combes dans l'un desquels on voit une roche déta-

chée en aiguille nommée la Tête d'homme (fig. 349, 350). La portion supérieure de ce bloc est abrupte vers tous les points de l'horizon. Sa hauteur verticale dépasse 6 mètres du côté de la colline, et 12 vers la Seine ; son diamètre approximatif est de 9 mètres. Sa composition est celle des rochers plus considérables qui sont en place dans le voisinage ; c'est de la craie blanche, parfois cristalline comme le marbre, avec de petits lits de silex noduleux et des masses tabulaires du même minéral. Les lits de silex font souvent saillie de 120 à 150 centimètres au delà de la craie, laquelle, généralement, se trouve dans un état de décomposition lente et s'exfolie, ou bien se couvre de poussière blanche comme les rochers crayeux de la côte d'Angleterre ; cette poussière superficielle contient également, en certains endroits, du sel commun.

D'autres escarpements sont situés sur la rive droite de la Seine, en face de Tournedos, entre les Andelys et Pont-de-l'Arche ; les précipices qu'ils forment ont de 15 à 24 mètres de profondeur ; plusieurs de leurs sommets se terminent en piton : l'un d'eux, surtout, est si complétement isolé, qu'il présente du côté de la colline une face perpendiculaire de 15 mètres de haut. On distingue nettement sur ces rochers diverses saillies et dépressions qui marquent autant de niveaux où l'on suppose que les flots de la mer ont battu pendant longtemps. A une hauteur plus considérable, immédiatement au-dessus de cette rangée, sont trois escarpements beaucoup plus petits, d'environ 120 centimètres chacun, avec autant de terrasses qui les séparent et se continuent de manière à former un demi-cercle autour d'une combe, comme en Sicile, p. 123.

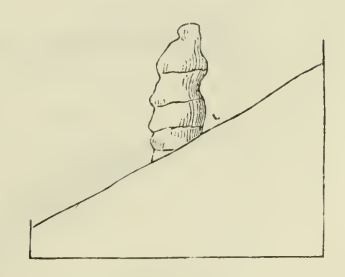


FIG. 351. — Piton de Craie, à Senneville.

Si l'on descend ensuite la rivière, de Vatteville à Senne-

ville, on arrive en face d'une aiguille singulière, d'environ 15 mètres de hauteur, entièrement isolée sur un escarpement crayeux de la rive droite de la Seine (fig. 351). Au-dessous, à 16 kilomètres environ sur la rive gauche du

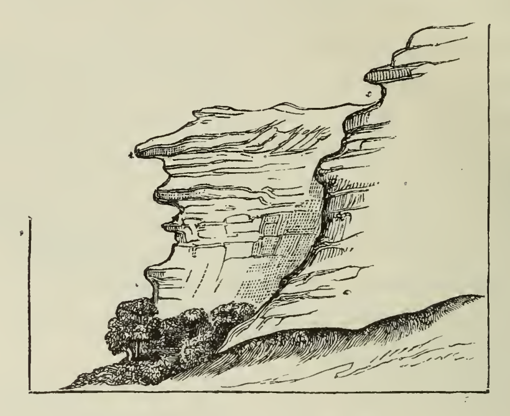


Fig. 352. — Roches d'Orival. Elbeuf.

fleuve, on rencontre une nouvelle et très-remarquable série de falaises intérieures, qui commence à Elbeuf et comprend les Roches d'Orival (fig. 352). Leur surface est irrégulière;

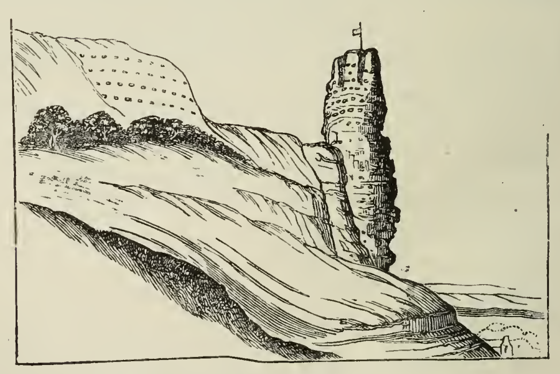


Fig. 353. — La Roche de Pignon, vue du sud.

souvent elles sont en surplomb, et contiennent des lits de silex saillants de plusieurs mètres. Ces falaises ont, comme les précédentes, la surface poudreuse, et sont composées

entièrement de craie avec silex. La rangée de falaises est distante de 64 kilomètres du rivage ; sa hauteur en certains endroits excède 60 mètres, et sa base n'est qu'à quelques mètres au-dessus du niveau de la Seine. Elle est interrompue sur un point par une masse pyramidale ou aiguille de 60 mètres de haut, appelée la Roche de Pignon, et qui dépasse d'environ 7 mètres la partie supérieure de la roche principale, qu'elle va rejoindre au moyen d'une bande étroite à 12 mètres plus bas que son sommet (fig. 353). Comme toutes les masses isolées de Senneville, Vatteville et des Andelys dont nous avons parlé plus haut, cette roche peut être comparée aux aiguilles de craie que l'on rencontre sur la côte de Normandie (1) (fig. 354), ainsi que dans l'île de Wight et dans le Purbeck.

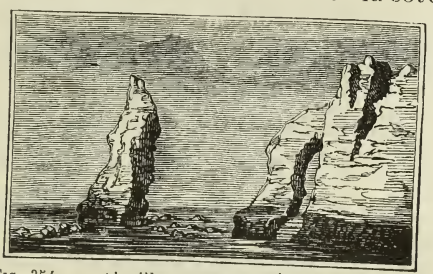


FIG. 354. — Aiguille et Arche d'Étretat dans les falaises de craie en Normandie. Hauteur de l'arche, 30 mètres (Passy) (2).

On verra par la suite de cette description et les dessins qui l'accompagnent, que l'opinion d'après laquelle certains escarpements de la craie auraient été originairement des falaises du bord de la mer est bien plus applicable à la France qu'à l'Angleterre. Si, dans l'intérieur de notre contrée, on ne rencontre ni rangées de précipices verticaux et en surplomb, ni piliers isolés, ni aiguilles, cette différence tient surtout à la dureté plus grande de la craie de Normandie. Mais souvent l'absence de tout signe de dénudation littorale dans la vallée même de la Seine est un fait négatif, d'un caractère encore plus extraordinaire et plus embarrassant. Les falaises, après s'être montrées continues sur plusieurs kilomètres de longueur, s'interrompent tout à coup sur de plus grandes

(1) Une description de ces rochers a été lue par l'auteur à l'Association Britannique, à Glasgow, septembre 1840.

(2) *Seine-Inférieure*, p. 142, et pl. 6, fig. 1.

distances et sont remplacées par une pente douce couverte de végétation, quoique leurs lits conservent la même composition et la même stratification horizontale ; cependant on peut tenir pour certain que le mode d'exhaussement du sol, intermittent ou continu, doit avoir été le même sur les points intermédiaires où il n'existe pas de falaises que sur ceux où elles sont si nettement accusées. Pour expliquer des anomalies aussi frappantes, le lecteur doit se reporter à la théorie de la dénudation exposée dans le chapitre VI. Nous avons démontré : 1° que la force érosive des vagues et des courants marins varie sensiblement sur les différents points d'un même rivage ; 2° qu'en se décomposant, les roches les plus abruptes s'écroulent souvent et tombent en ruines ; 3° que des terrasses et de petits escarpements peuvent parfois être cachés sous un talus de détritus.

Dénudation de la vallée du Weald. — Aucune région ne saurait montrer d'une manière plus frappante que la

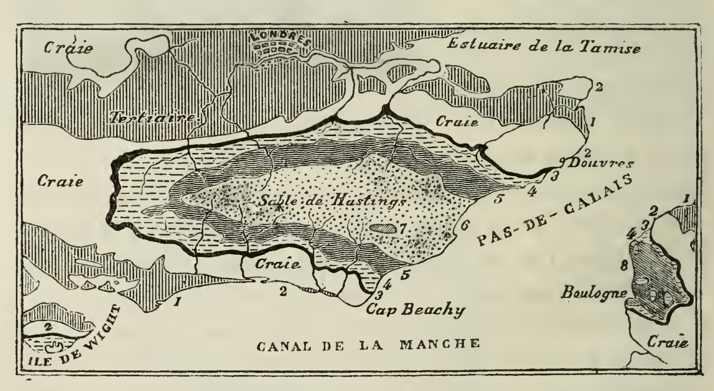


Fig. 355. — Carte géologique du Sud-Est de l'Angleterre et d'une partie de la France montrant la dénudation du Weald.

1. Tertiaire.
2. Craie et Grès Vert Supérieur.
3. Gault.
4. Grès Vert Inférieur.
5. Weald.
6, Sables de Hastings.
7. Couches de Purbeck.
8. Oolithe.

contrée située entre les Downs (collines) du nord et ceux du sud, comment une grande série de couches a pu être exhaus-

sée, puis graduellement dénudée. Cette contrée, dont la surface est figurée dans la carte (fig. 355), comprend tout le Sussex et une portion des comtés de Kent, de Surrey et de Hampshire. L'espace sur lequel se sont déposées les formations plus anciennes que la Craie Blanche ou celles comprises entre le Gault et les sables de Hastings inclusivement, est bordé de tous côtés par un grand escarpement de craie qui se continue de l'autre côté du canal de la Manche, jusque dans le Bas Boulonnais en France, où il forme la limite semi-circulaire d'une étendue de pays dont les couches plus anciennes apparaissent même superficiellement. On peut donc considérer, au point de vue géologique, ce district en son entier comme un seul et même ensemble.

L'espace limité par l'escarpement de la craie nous fournit un exemple de ce qu'on a souvent appelé *vallée d'élévation*, et plus correctement *de dénudation*, c'est-à-dire d'une vallée dans laquelle les couches, en partie enlevées par les eaux, plongent de tous côtés à partir de l'axe central. On suppose donc que le sol maintenant occupé par le sable de Hastings (n° 6) était autrefois couvert par l'argile du Weald (n° 5), celle-ci à son tour par le Grès vert (n° 4), ce dernier par le Gault, et, en dernier lieu, que la Craie (n° 2) s'étendait primitivement sur toute la surface comprise entre les Downs du Nord et ceux du Sud. On comprendra mieux cette théorie, si l'on jette un coup d'œil sur le diagramme ci-contre (fig. 356) où les lignes plus foncées représentent les portions qui subsistent aujourd'hui, et les lignes plus pâles les portions que l'on considère comme ayant été entraînées.

A chacune des extrémités du diagramme, on voit les couches tertiaires (n° 1) reposer sur la craie. Vers le milieu, les sables de Hastings (n° 6) forment un axe anticlinal, de chaque côté duquel les autres formations s'inclinent en sens opposé. Il a été nécessaire, cependant, pour donner une idée claire des différentes formations, d'exagérer la hauteur proportionnelle de chacune d'elles relativement à leur étendue horizontale ; le diagramme (fig. 357) est à une échelle vraie

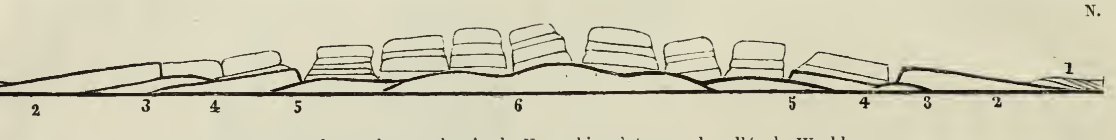


FIG. 356. — Coupe de Londres au bassin du Hampshire, à travers la vallée du Weald.
1. Couches tertiaires. — 2. Craie et silex pierre à feu. — 2. Gault. — 4. Grès Vert Inférieur. — 5. Argile du Weald. — 6. Sables de Hastings.

Point culminant des Downs du Sud : 260 mètres.

Axe anticlinal du Weald, colline de Crowborough : 245 mètres.

Point culminant des Downs du Nord : 268 mètres (1).

0 2 4 6 8 10 20 30 40 Milles

Milles 1 2

FIG. 357. — Coupe des confins du bassin de Londres à celui de Hants, avec les principales hauteurs au-dessus du niveau de la mer, figurées à leur échelle vraie.

(1) La colline de Botley, près de Godstone, dans le Surrey, s'élève, d'après des mesures trigonométriques, à 368 mètres au-dessus du niveau de la mer ; la colline de Wrotham, près de Maidstone, dont la hauteur paraît se rapprocher de celle des Downs du Nord, s'élève à 242 mètres.

(2) Le mille anglais vaut 1^{kil}, 609314 ; la coupe est divisée en milles. (*Note du traducteur.*)

et corrigera l'impression fausse qui aurait pu naître dans l'esprit du lecteur. Dans cette coupe, la distance entre les Downs du Nord et du Sud dépasse 54 kilomètres, car la vallée du Weald est ici coupée, suivant son plus long diamètre, dans la direction d'une ligne tirée entre Lewes et Maidstone.

A travers la portion centrale du district que l'on suppose avoir été dénudé, court, à peu près de l'est à l'ouest, une grande ligne anticlinale sur les deux côtés de laquelle les couches 5, 4, 3 et 2 affleurent successivement. Mais, bien que, pour rendre plus compréhensible la structure physique de cette région, la ligne centrale d'élévation ait seule été tracée comme dans les diagrammes de Smith, Mantell, Conybeare et autres, les géologues savent tous qu'un grand nombre de lignes plus petites de dislocation et de flexion courent parallèlement au grand axe du centre.

Dans la région centrale des sables de Hastings, les couches ont subi de grands dérangements; on connaît une faille où le déplacement vertical d'une couche de grès grossier (*grit*) calcaire n'est pas moindre de 109 mètres (1). La physionomie pittoresque de ce district est due en grande partie aux vallées profondes et étroites, aux crêtes acccidentées produites par les plissements à angles aigus et par les fractures des couches, mais il faut l'attribuer aussi à l'action érosive exercée par les eaux, spécialement sur les couches argileuses qui s'y trouvent intercalées.

Indépendamment des vallées et crêtes longitudinales du Weald, d'autres vallées courent dans une direction transversale, passant à travers la craie, jusqu'au bassin de la Tamise d'un côté, et au détroit de la Manche de l'autre. C'est ainsi que la chaîne des Downs du Nord est coupée par les rivières Wey, Mole, Darent, Medwey et Stour; les Downs du Sud le sont par les rivières Arun, Adur, Ouse et Cuckmere (2). Si ces cavités transversales venaient à être rem-

(1) Fitton, *Geology of Hastings*, p. 55.
(2) Conybeare, *Outlines of Geol.*, p. 81.

plies, toutes les rivières, observe M. Conybeare, dévieraient à l'est et iraient se jeter à la mer par Romney Marsh et Pevensey Levels.

Fig. 358. — Vue de l'escarpement de la craie dans les Downs du Sud ; prise du Dyke du diable, en regardant vers l'ouest et le sud-ouest. — *a*. La ville de Steyning est cachée par ce promontoire. — *b*. Église d'Edburton. — *c*. Route. — *d*. Rivière Adur.

M. Martin a fait remarquer que les grandes fractures transversales de la craie, aujourd'hui devenues des conduits de rivières, présentent une correspondance remarquable sur chaque côté du Weald. Souvent, dans les Downs du Nord et du Sud, on voit les gorges des vallées directement opposées l'une à l'autre; par exemple, les défilés de la Wey, dans les Downs du Nord, et ceux de l'Arun, dans les Downs du Sud, paraissent coïncider en direction ; de même, l'Ouse correspond à la Darent, et la Cuckmere à la Medway (1).

Bien que ces coïncidences puissent être accidentelles, il n'est nullement improbable, comme le fait observer l'auteur ci-dessus mentionné, qu'une élévation considérable vers le centre du district Wealdien n'ait donné lieu aux fissures transversales; et, comme les vallées longitudinales

(1) *Geol. of Western Sussex*, p. 61.

étaient en connexion avec ce mouvement linéaire qui dirigeait les lignes anticlinales est et ouest, des fissures transversales ont dû être produites par l'intensité de la force d'exhaussement vers le centre de la ligne.

Mais, avant d'expliquer comment s'est produit le mouvement d'exhaussement, je dois faire connaître les principaux traits géographiques du district, autant qu'ils ont un intérêt géologique.

Quelque direction que l'on prenne en allant des couches tertiaires des bassins de Londres et de Hampshire vers la vallée du Weald, on gravit d'abord une pente de craie blanche avec silex, puis on arrive à un point culminant composé en grande partie de différents membres de la formation Crétacée. Au-dessous de cette formation affleure le Grès Vert Supérieur, et quelquefois aussi le Gault. Cette pente, en somme, représente le grand escarpement de craie que nous avons mentionné ci-dessus, et qui domine une vallée creusée principalement dans les couches argileuses ou marneuses appelées Gault (n° 3). L'escarpement est continu le long de l'extrémité méridionale des Downs du Nord ; on peut le suivre depuis la mer, à Folkstone, jusqu'à l'ouest de Guildford et aux environs de Petersfield, et de là jusqu'à l'extrémité des Downs du Sud, à Beachy Head. Les couches sont coupées sous forme abrupte ; évidemment elles ont dû s'étendre primitivement beaucoup plus loin. Dans la figure 358, j'ai représenté fidèlement un point de l'escarpement des Downs du Sud où la dénudation, à la base de la pente, est plus prononcée que d'habitude, par la raison que les Grès Verts Supérieur et Inférieur sont formés de matériaux très-incohérents ; le premier de ces deux membres se trouve là extrêmement mince et manque presque tout à fait.

Le géologue reconnaîtra dans cette esquisse la forme exacte des falaises marines ; et s'il regarde dans une direction opposée, c'est-à-dire à l'est, vers Beachy Head (fig. 359), il verra se prolonger la même ligne de hauteurs.

Les personnes les moins expérimentées n'auront pas de peine à saisir la ressemblance de cette plaine large et unie avec les sables nivelés que laisse la marée en se retirant, et, dans les masses de craie en projection, les langues de terre, ou caps, qui séparaient les unes des autres les différentes baies d'une même côte.

Dans les Downs du Nord, des puits de sable (*sand-pipes*) sont parfois coupés par l'escarpement; suivant quelques

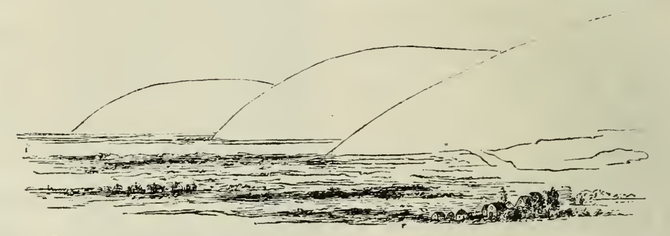


FIG. 359. — Escarpement de craie, vu d'une hauteur aux environs de Steyning, Sussex. Au premier plan, le château et le village de Bramber.

géologues, ils seraient plus modernes que celui-ci, et dans ce cas ils pourraient fournir un argument contre la théorie qui voit dans les escarpements de ces localités d'anciennes falaises des bords de la mer ou des rivières. Mais, lorsqu'on songe à la grande profondeur de plusieurs de ces puits, de ceux des environs de Seven-Oaks, par exemple, on conçoit que leur extrémité inférieure puisse quelquefois se montrer à découvert loin du sommet d'un escarpement partout où des portions de craie auront été coupées.

Quant aux vallées transversales qui séparent les collines de craie, on pourra en prendre une idée d'après l'esquisse ci-contre (fig. 360) de la gorge de la rivière Adur, prise du sommet des collines de craie, sur le chemin qui conduit des villes de Bramber et de Steyning à Shoreham. Si le lecteur veut bien se reporter à la figure 358, il trouvera le point exact où la gorge dont il est question interrompt l'escarpement de craie. Une colline qui se prolonge jusqu'au point *a* cache la ville de Steyning; près de cette ville commence la vallée par laquelle l'Adur va directement à la mer, à Old

Shoreham. La rivière coule à travers une plaine presque unie, comme la plupart des autres rivières qui coupent les collines de Surrey, de Kent et de Sussex, et il est évident que ces ouvertures n'ont point été pratiquées par des cours d'eau, à moins que l'on ne suppose des conditions de géographie physique tout à fait différentes de celles qui prévalent aujourd'hui. En réalité, plusieurs des rivières actuelles, par exemple l'Ouse près de Lewes, ont comblé des bras de mer au lieu de creuser les lits qu'elles parcourent.

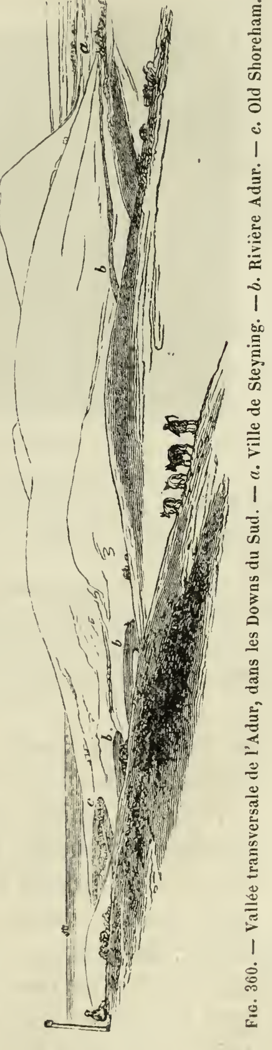


FIG. 360. — Vallée transversale de l'Adur, dans les Downs du Sud. — *a.* Ville de Steyning. — *b.* Rivière Adur. — *c.* Old Shoreham.

Il est plus probable que presque toutes, sinon toutes les gorges qui se dirigent nord et sud, ont été produites par des fractures et des déplacements de roches ; le ravin dirigé est et ouest qui part du côté oriental de la vallée de l'Ouse est certainement dû à une dislocation. Ce ravin s'appelle *La Coomb* (combe) (fig. 361) ; il est situé près de la ville de Lewes. Il fut pour la première fois signalé par le Docteur Mantell, en société de qui je l'ai examiné. Les pentes rapides qui l'encaissent sont tapissées d'un vert gazon, de même que le fond qui est parfaitement à sec. On ne distingue aucun signe extérieur de dislocation, et les rapports de la dépression avec les mouvements souterrains n'eussent pas même été soupçonnés par le géologue, si l'escarpement de la vallée de l'Ouse et les nombreux puits de craie qui sont

exploités vers l'extrémité de la combe ne nous eussent fourni les preuves évidentes de grandes convulsions. A

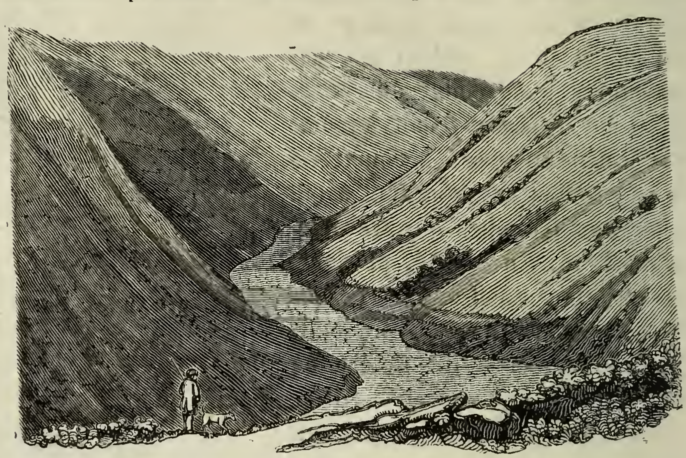


FIG. 361. — La Coomb, près de Lewes.

l'aide de ces jalons, on découvre que le ravin coïncide précisément avec une ligne de faille sur l'un des côtés de la-

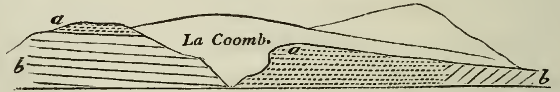


FIG. 362. — Faille coïncidant avec la Coomb, à Cliff Hill, près de Lewes (Mantell). *a.* Craie avec silex ; — *b.* Craie Inférieure.

quelle la craie à silex *a* (fig. 362) apparaît au sommet de la colline, tandis que sur l'autre côté elle se montre au bas.

Pour se rendre compte de la manière dont les cinq groupes de couches 2, 3, 4, 5, 6, représentés dans la carte (fig. 355) et dans la coupe (fig. 356), ont pu être amenés à leur position actuelle, on peut imaginer l'hypothèse suivante : Supposons les cinq formations disposées en couches horizontales au fond de la mer ; qu'un mouvement s'exerçant du dessous soulève les couches en forme de dôme surbaissé, que plus tard le sommet convexe de ce dôme se partage de telle sorte que la solution de continuité pénètre jusqu'au groupe inférieur, et les différentes couches pré-

senteront à la surface la disposition que l'on voit dans la carte (fig. 355) (1).

La quantité de dénudation, c'est-à-dire la masse que l'on suppose avoir été jadis entraînée par les eaux, des Downs du Sud aux Downs du Nord, est tellement considérable, que l'esprit est frappé au premier abord de la hardiesse de l'hypothèse. Mais la difficulté disparaît lorsqu'on accorde un temps suffisant à l'exhaussement et à l'abaissement graduels des couches durant plusieurs périodes géologiques successives ; les flots et les courants de l'océan, ainsi que l'action des rivières, de la pluie et des inondations, ont pu produire lentement des résultats qu'aucun cataclysme subit des eaux n'aurait été capable d'accomplir.

Comme autres preuves de l'action de l'eau, rappelons que les grandes vallées longitudinales suivent l'affleurement de couches plus meubles et plus incohérentes, tandis que les crêtes ou lignes d'élévations correspondent aux points où les couches sont composées de pierre plus dure. C'est ainsi que la craie avec silex, et en même temps le Grès Vert Supérieur qu'elle recouvre, ont été coupés du côté de la mer par un escarpement qui borde une vallée profonde creusée en grande partie dans un lit argileux mou appelé Gault (n° 3, carte, p. 556). En quelques endroits, comme près de Beachy Head, le Grès Vert Supérieur est réduit à un état meuble et incohérent qui atteste une dénudation égale à

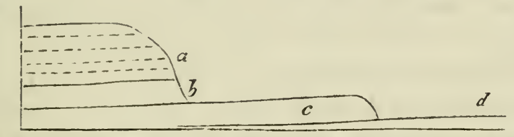


FIG. 363. — *a*. Craie avec silex. — *b*. Craie sans silex. — *c*. Grès Vert Supérieur, ou silex pierre à feu. — *d*. Gault.

celle du Gault ; mais, plus loin vers l'ouest, il présente une grande épaisseur, et contient des couches dures de chert

(1) Voyez les illustrations de cette théorie par le docteur Fitton, *Geol. Sketch of Hastings*.

bleu et de grès calcaire ou pierre à feu (*firestone*). Cette dernière disposition influe directement sur la physionomie de la contrée ; car le grès s'avance en gradin au delà du pied des collines de craie et constitue une terrasse inférieure dont la largeur varie de 400 à 4,000 mètres, et qui suit les sinuosités de l'escarpement crayeux (1).

Rien ne saurait prouver d'une manière plus satisfaisante que l'escarpement est le résultat d'une érosion produite par les eaux durant l'exhaussement des couches ou pendant leur abaissement à des périodes successives ; j'ai montré, dans ma description de la côte de Sicile (page 123), comment les empiétements de la mer tendent à effacer les successions de terrasses auxquelles donne toujours naissance l'exhaussement intermittent d'une côte minée par les vagues. Pendant l'intervalle qui s'écoule entre deux mouvements élévatoires, la terrasse inférieure est habituellement détruite partout où elle est composée de matériaux incohérents, tandis que la mer n'a pas le temps d'entraîner en entier telle autre partie de la même terrasse dont la texture est plus résistante à l'action érosive des eaux. L'argile ductile appelée Gault est facile à entraîner ; aussi partout où affleure cette formation, rencontrons-nous une vallée qui longe la base des collines de craie, et qui, du côté opposé, se trouve bordée ordinairement par le Grès Vert Inférieur ; comme les couches supérieures de cette dernière formation sont meubles et incohérentes, elles ont en général disparu, ce qui augmente la largeur de la vallée. Mais, dans les districts où abondent comme éléments constituants, le chert, le calcaire et autres matières solides (n° 4, carte, page 556), on voit, par exemple, à Leith Hill près Dorking, courir parallèlement à la craie une rangée de collines quelquefois égales ou même supérieures en hauteur à l'escarpement de la craie. Cette rangée présente souvent un côté abrupt vers le dépôt d'argile molle appelée Weald Clay (n° 5, fig. 356, page 558) ; il en résulte or-

(1) Sir R. Murchison, *Geol. Sketch of Sussex*, etc., *Geol. Trans.*, 2e série, vol. II, p. 98.

dinairement une large vallée qui sépare le Grès Vert Inférieur des sables de Hastings ou Forest Ridge. Mais, sur les points où se présentent des couches subordonnées de grès d'une texture plus solide, l'uniformité de la plaine n° 5 fait place à des ondulations irrégulières et à des monticules.

Action pluviale. — En traitant de la destructibilité comparative des roches plus dures ou plus tendres, nous ne devons point passer sous silence l'action de la pluie. Les collines de craie sont habituellement couvertes jusque sur leur sommet de silex non arrondis, tels qu'il en doit rester après que des masses de craie blanche ont été ramollies, puis entraînées par les eaux. Cette accumulation superficielle des matériaux durs ou siliceux de couches désagrégées peut provenir en grande partie de l'action pluviale, car pendant les pluies torrentielles on voit des cours d'eau chargés de matières calcaires, de couleur blanc de lait, descendre de collines de craie même très-peu inclinées. Si cette cause suffit pour faire disparaître en un siècle de petites couches de quelques millimètres d'épaisseur, des masses considérables seronl entraînées pendant des âges indéfinis, et ne laisseront comme témoignage de leur première existence qu'un lit de nodules siliceux. Une couche d'argile fine recouvre quelquefois la surface de dépressions légères dans la craie blanche; cette couche représente le résidu alumineux de la roche après la dissolution du carbonate de chaux par l'eau de pluie, chargée d'un excès d'acide carbonique provenant d'une décomposition de matières végétales. Des eaux acidulées descendent quelquefois le long des tuyaux de sable (*sand-pipes*) et des entonnoirs de la craie ; elles minent la surface et forment ou agrandissent des cavités souterraines (1).

Lignes de fracture. — Dans un ouvrage publié en 1828, sur la géologie du Sussex occidental, et qui jette beaucoup de lumière sur la structure du Weald, M. Mar-

(1) Voyez ci-dessus, p. 132, *Tuyaux de sable dans la craie*, et Prestwich, *Geol. Quart. Journ.*, vol. X, p. 222.

tin trace, pour des longueurs de plusieurs kilomètres, la direction non interrompue d'un certain nombre de lignes anticlinales et de fractures transversales. M. Hopkins s'est livré, mais avec plus de détails, au même genre d'investigation. Ce savant, géologue et mathématicien, a montré que la direction des lignes de flexion et de dislocation observées dans le district du Weald coïncide avec celle qu'indiquent théoriquement les principes de la mécanique, en admettant certaines conditions simples qui auraient déterminé l'exhaussement des couches en vertu d'une force d'expansion souterraine (1).

Cette opinion, suivant laquelle les lignes longitudinales et transversales de fracture auraient pu se produire simultanément, s'accorde bien avec celle exprimée par M. Thurmann dans son ouvrage sur les crêtes anticlinales et les vallées d'élévation du Jura Bernois (2). Je puis attester l'exactitude de la carte et des sections de ce géologue suisse, pour la partie de la région que j'ai personnellement examinée en 1835. D'après ce géologue, la largeur des crêtes anticlinales et des masses en forme de dôme, dans le Jura, serait constamment en rapport avec le nombre des formations exposées au jour, ou, en d'autres termes, avec la profondeur sur laquelle ont été mis à découvert les groupes superposés de couches secondaires (fig. 71, structure du Jura). M. Thurmann remarque aussi que les lignes anticlinales sont parfois obliques et se croisent l'une l'autre, et que c'est alors que l'on observe la plus grande dislocation. Il suppose que quelques-unes des fractures transversales ont été contemporaines d'autres fractures qui ont suivi les fractures longitudinales.

J'ai admis dans la première partie de ce chapitre que l'exhaussement du Weald avait été graduel, tandis que plusieurs géologues le considèrent comme le résultat d'un unique mais violent effort souterrain. Pour ces géologues, l'unité d'effet

(1) *Geol. Soc. Proceed.*, n° 74, p. 363, 1841; et *Geol. Soc. Trans.*, 2e série, vol. VII.

(2) *Soulèvements jurassiques*, 1832.

que l'on remarque dans le mouvement de cette formation et dans celui d'autres lignes de couches disloquées du sud-est de l'Angleterre, celles de l'île de Wight, par exemple, serait inconciliable avec la supposition d'un grand nombre d'efforts renouvelés à de longs intervalles de temps. Mais nous savons que les tremblements de terre, comme les éruptions volcaniques, se répètent sur les mêmes points pendant une longue série d'âges. Les laves les plus anciennes de l'Etna sont sorties bien des milliers d'années avant les plus modernes, et cependant ces laves, ainsi que les mouvements qui ont accompagné leur émission, ont produit une montagne symétrique ; et, si les courants de matières fondues continuent ainsi à couler dans la même direction et vers le même point pendant un laps de temps indéfini, quelle difficulté y a-t-il à concevoir que la force volcanique souterraine, cause de l'exhaussement ou de l'abaissement de certaines parties de la croûte terrestre, ait pu, par des mouvements réitérés, produire la plus parfaite unité dans les résultats ?

A quelles époques la vallée du Weald a-t-elle été dénudée ? — En s'appuyant sur les recherches les plus récentes, on peut admettre que la dénudation de la vallée du Weald a nécessité une période de temps si longue, qu'elle a suffi à l'accomplissement des plus grandes révolutions dans la géographie physique du globe. Il est aujourd'hui incontestable qu'une partie de cette dénudation est antérieure à la formation des couches Éocènes d'Angleterre, et par conséquent à celle des roches nummulitiques d'Europe et d'Asie ; elle s'est donc effectuée à une époque où n'existaient encore ni les Alpes, ni les Pyrénées, ni plusieurs autres chaînes d'Europe et d'Asie ; la majeure partie des matériaux qui constituent ces montagnes ne s'étaient même point encore accumulés au fond de la mer.

M. Élie de Beaumont a admis, en 1833, l'existence d'une île dans la mer Éocène, sur l'espace occupé aujourd'hui par les couches Wealdiennes de France et d'Angleterre, il a dressé une carte qui rétablit hypothétiquement la géographie

de cette région à l'époque dont il est question (1). Depuis, M. Prestwich a démontré que les matériaux dont se composent les couches tertiaires d'Angleterre, et leur manière de reposer sur la craie, impliquent la nécessité qu'une île, ou plusieurs îles ou bas-fonds, composés de Grès Vert Supérieur, de Gault, et probablement de quelques-unes des roches Crétacées Inférieures, aient existé quelque part entre les Downs actuels du Nord et du Sud. Les rochers et les plages de ces terres, minés par les eaux, ont fourni les silex que l'action des vagues a depuis arrondis en galets semblables à ceux qui forment aujourd'hui les lits à cailloux de Woolwich et de Blackheath, au-dessous de l'Argile de Londres. On suppose que ce continent fut arrosé par des rivières qui coulaient à la mer Éocène, et donnèrent naissance aux dépôts d'eau douce et d'eau saumâtre de Woolwich et à d'autres couches contemporaines (2). La grosseur de quelques-uns des silex roulés (20 centimètres et plus de diamètre) de la couche à cailloux de Blackheath indique la proximité d'une terre. Des corps aussi pesants n'auraient pu être transportés à de longues distances, que leur forme fût due à l'action des vagues battant le rivage d'une mer, ou bien à celle de rivières descendant d'une pente rapide.

Dans le diagramme ci-joint (fig. 364), M Prestwich a représenté une coupe allant du voisinage de Saffron-Walden en Essex, au Weald, et passant N. et S. à travers Godstone ; on y voit comment le dérangement et la dénudation de la craie *c* ont précédé le dépôt des couches Éocènes inférieures *b*. Quelques petits lambeaux des dernières couches mentionnées *b'*, consistant en argile et sable, se prolongent quelquefois, comme dans l'exemple actuel, jusqu'à la crête même de l'escarpement des Downs du Nord. Cette circonstance fait voir que la surface de la craie blanche, aujourd'hui couverte par les couches tertiaires, est identique avec

(1) *Mémoires de la Société Géologique de France*, vol. I, part. 1, p. 111, pl. 7, fig. 5.
(2) Voyez ci-dessus, p. 357.

celle qui constitua dans le principe le fond de la mer Éocène.

Donc, si l'on prolonge vers le sud les surfaces supérieure et inférieure de la craie, le long de la ligne pointillée dans la coupe ci-dessous, elles convergeront au point x; au delà de

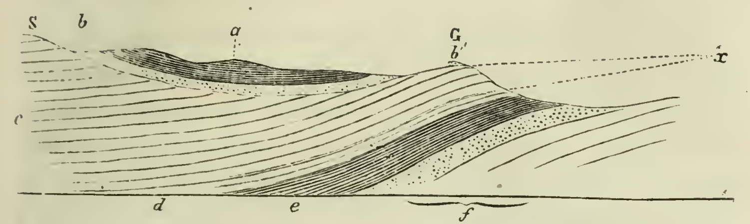


Fig. 364. — Coupe montrant que le Weald a été dépouillé de la craie avant le dépôt des couches de l'Éocène Inférieur (voir Prestwich, *Geol. Quart. Journ.*, vol. VIII, p. 256, 1862).

S. Position relative de Saffron-Walden. — G. Escarpement de craie, au-dessus de Godstone, surmonté d'un lambeau de couches Tertiaires Inférieures *b'*. — *a*. Argile de Londres. — *b*, *b'*. Tertiaire Inférieur. — *c*. Craie. — *d*. Grès Vert Supérieur. — *e*. Gault. — *f*. Grès Vert Inférieur et Weald. — *x*. Point auquel les surfaces inférieure et supérieure de la craie convergeraient si on les prolongeait.

ce point, par conséquent, il y avait absence de craie blanche à l'époque où se formèrent les couches Éocènes *b*, *b'*. En d'autres termes, les parties centrales du Weald, au sud de x, étaient déjà dégagées de leur manteau primitif de craie, ou ne présentaient plus que quelques lambeaux de cette roche répandus à la surface.

On peut se représenter par la figure 365 l'île ou les îles de la mer Éocène; mais, sans aucun doute, la dénudation s'é-

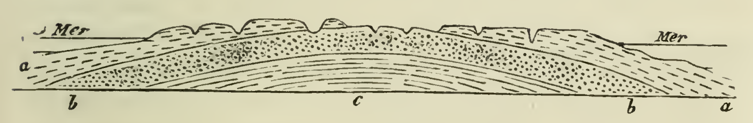


Fig. 365. — Ile dans la mer Éocène.
a. Craie, Grès Vert Supérieur et Gault. — *b*. Grès Vert Inférieur. — *c*. Weald.

tendit beaucoup plus en largeur et en profondeur avant la fin de la période Éocène, et les vagues durent empiéter sur le Grès Vert Inférieur, et peut-être, en quelques points, sur les couches du Weald.

Suivant cette manière de voir, la masse des roches crétacées et sous-crétacées qui fut amenée par les vagues et les

courants à la surface du pays situé entre les Downs du Nord et ceux du Sud, avant l'origine des couches de l'Éocène le plus ancien, dut être aussi volumineuse que celle qui a été emportée par la dénudation depuis le commencement de l'ère Éocène.

Mais le lecteur demandera peut-être quelle est la nécessité d'admettre qu'une aussi grande masse de craie blanche se soit étendue d'abord, sans interruption, sur les couches Wealdiennes dans cette partie de l'Angleterre, et qu'elle ait été ensuite enlevée? Ne peut-on pas supposer que la terre ferme a commencé d'exister entre les Downs du Nord et du Sud à une époque beaucoup plus ancienne, et que les couches du Weald supérieur, en s'élevant du milieu de l'Océan Crétacé, ont interrompu l'accumulation de la craie blanche, limitée dès lors aux eaux plus profondes du voisinage? Cette hypothèse a été souvent avancée, et souvent aussi elle a été rejetée; car, si des bas-fonds ou des continents se fussent trouvés aussi rapprochés, la craie blanche eût été bien certainement souillée et mélangée de limon et de sable, et les débris organiques d'origine terrestre, fluviale ou littorale, n'auraient pas manqué d'une manière aussi complète dans les couches des Downs du Nord et du Sud, où la craie se termine brusquement sous forme d'escarpement. Les fossiles que l'on y trouve aujourd'hui appartiennent exclusivement à des classes qui habitent les mers profondes. D'un autre côté, si les couches Wealdiennes avaient éprouvé un exhaussement avant le dépôt de la partie Crétacée qui les surmonte, les couches supérieures du groupe Wealdien, comme M. Prestwich l'a remarqué, ne montreraient pas aujourd'hui une stratification aussi nettement concordante avec les couches inférieures du Grès Vert Inférieur.

Mais, bien que l'on puisse présumer que la craie blanche a été autrefois continue sur l'espace occupé aujourd'hui par le Weald, il ne s'ensuit pas que la première dénudation ait été subséquente à la période Crétacée entière. Cette dénudation

commença probablement avant la formation d'une portion considérable des couches de Maëstricht, ou pendant que ces couches étaient en train de se former. J'ai déjà établi (page 498), qu'en Belgique, on rencontre abondamment des silex de la craie convertis en galets roulés dans les couches inférieures de Maëstricht, sur certains points où ces couches surmontent la craie blanche; ces galets montrent à quelle date ancienne la craie, s'élevant du sein d'une mer profonde, s'est trouvée exposée à l'action érosive des eaux.

En prenant pour terme de comparaison les changements survenus dans la vie organique, on peut estimer que l'intervalle qui s'est écoulé entre les couches de Maëstricht et les sables de Thanet a presque égalé en durée celui qui a séparé le dépôt de ces sables de la période glaciaire. Si l'appréciation est juste, ce serait folie de vouloir restaurer par la pensée les innombrables phases par lesquelles a dû passer la géographie physique du S.-E. de l'Angleterre depuis le commencement de la dénudation du Weald. En moins de la moitié du même laps de temps, l'aspect de la surface totale de l'Europe subit des changements plus considérables qu'aucun de ceux qu'elle avait éprouvés aux époques antérieures. Il sera peut-être utile, toutefois, d'énumérer quelques-unes des fluctuations constatées dans la conformation physique du Weald et des régions adjacentes pendant la période dont il s'agit.

1° Reportons-nous vers ces mouvements qui déterminèrent jadis l'émersion de la craie blanche et l'amenèrent à une situation où les vagues purent en enlever certaines portions, comme nous l'avons représenté dans le diagramme (fig. 364), et cela, avant la formation des couches de l'Éocène Inférieur d'Angleterre.

2° Tenons compte ensuite du transport graduel de la craie et de ses silex, transport qu'attestent les sables de Thanet aussi bien que les couches caillouteuses subséquentes de Woolwich et Blackheath qui atteignent parfois une épaisseur de 15 mètres, et sont composées de silex roulés.

3° Rappelons-nous qu'à une dernière époque survint un grand affaissement par suite duquel baissèrent les couches peu profondes d'eau douce de Woolwich et d'autres dépôts Éocènes Inférieurs (voyez ci-dessus, page 469); en sorte que l'Argile de Londres et la série de Bagshot, qui sont des formations de mer profonde, purent s'accumuler au-dessus. La quantité de l'abaissement, suivant M. Prestwich, dépassa 250 mètres dans le bassin de Londres, et 600 mètres dans celui de Hampshire ou de l'île de Wight; s'il en fut ainsi, la surface du Weald dut participer au même mouvement, et quelques portions au moins de l'île dont il a été question (fig. 365) furent submergées.

4° Après leur dépôt dans le bassin de Londres, l'Argile de Londres et les sables de Bagshot qui la surmontent paraissent avoir subi un exhaussement pendant la période Éocène, et leur conversion en continent, dans le nord, aurait précédé l'élévation des couches d'âge correspondant dans le sud ou bassin de Hampshire, car on ne trouve sur aucun point de la contrée de Londres les couches Éocènes fluvio-marines de Hordwell et de l'île de Wight, décrites dans le chapitre XVI.

5° Les fossiles des couches alternantes, marines, d'eau saumâtre et d'eau douce du Hampshire, formations appartenant à l'Éocène Moyen et Supérieur, attestent la présence de rivières qui auraient lavé des terres adjacentes, et, en même temps, l'existence de nombreux quadrupèdes qui auraient vécu sur ces terres. Au lieu de cela, on se serait attendu naturellement à rencontrer les traces d'une mer ouverte, comme conséquence du vaste abaissement des couches de l'Éocène Moyen, si aucun exhaussement local ne fût survenu simultanément dans l'île de Wight ou dans les contrées immédiatement adjacentes. Quelle que soit l'hypothèse que l'on adopte, on peut admettre, pour le S.-E. de l'Angleterre, durant les périodes de l'Éocène Moyen et Supérieur, des exhaussements et des abaissements des terres, et des changements de niveau dans le lit de la mer qui furent

loin d'être uniformes sur la surface totale. L'étendue et l'épaisseur des mêmes couches qui manquent dans le Weald tendraient à prouver que cette surface a changé plusieurs fois de niveau par des oscillations réitérées, et que, plus fréquemment qu'aucune des surfaces adjacentes, elle a été transformée de mer en continent et de continent en mer; car les submersions et émersions itératives des terres augmentent, indépendamment de toute autre cause, le pouvoir de dévastation et de transport des eaux, qu'il s'agisse de la mer, des rivières ou des inondations.

6° Les couches du Miocène Inférieur de l'île de Wight (couches de Hempstead) ont été élevées de plusieurs centaines de mètres, au-dessus du niveau de la mer dans laquelle elles avaient été originairement formées. Un tel mouvement d'exhaussement a pu s'accomplir, en grande partie du moins, pendant la période Miocène, à une époque où l'on suppose qu'une large portion de l'Europe formait déjà un continent (p. 387). De là, pour nous, la probabilité de révolutions dans la géographie physique du Weald adjacent, à des époques intermédiaires entre le dépôt des couches de Hempstead et le commencement du Crag de Suffolk.

7° Nous avons déjà vu (p. 376) que des lambeaux de couches ferrugineuses se trouvent dans les Downs du Nord, quelques-uns de 6 à 12 mètres d'épaisseur, et correspondant par leurs fossiles à l'époque des sables de Diest en Belgique. Ces couches sont probablement plus anciennes que le crag corallin du Suffolk, et constituent, comme nous l'avons expliqué, le seul représentant dans les îles Britanniques de l'époque du Miocène supérieur ou Falunienne. Il est évident, d'après la position des sables en question des Downs du Nord comparée à celles des dépôts Éocènes inférieurs de l'argile de Londres, et de la série de Woolwich et de Thanet, que toutes les couches de l'Éocène ont été notablement usées et souvent réduites à ne former que de simples lambeaux isolés sur la craie, avant que les eaux de la mer du Miocène

Supérieur aient recouvert cette région méridionale de la Tamise. A la suite de l'entraînement de ces sables ferrugineux, le lit de la mer se serait de nouveau exhaussé de 150 à 180 mètres, ce qui expliquerait l'élévation actuelle des Downs du Nord.

Ces découvertes nous apprennent combien il est souvent impossible de démontrer la présence primitive de la mer sur une surface donnée, au moyen d'anciens rivages, ou de débris organiques. De longues et minutieuses recherches ont été poursuivies avant 1856, pour reconnaître des coquilles marines d'espèces récentes ou du crag, et découvrir des rivages anciens de la mer, sur la surface occupée par les Downs du Nord et du Sud, ainsi que par le Weald, c'est-à-dire sur les points répresentés par les nos 2, 3, 4, 5, 6 et 7 de la carte (p. 556). Mais ces recherches furent vaines, jusqu'au moment où quelques coquilles et des moules de ces fossiles ont prouvé tout à coup, d'une manière incontestable, que la mer du Vieux Pliocène ou Miocène Supérieur avait jadis séjourné dans cette région. Nous devons donc admettre aujourd'hui qu'à plusieurs reprises le sol baissa, puis émergea de nouveau, sans conserver à sa surface aucun monument de la nature de ceux que l'on invoque habituellement pour établir une dénudation marine, ayant apporté des changements considérables dans la géographie physique du globe.

8° Nous avons encore à tenir compte d'un autre intervalle de temps non moins long, — celui qui a séparé la fin de la période Miocène du commencement de la période du Nouveau Pliocène; ce temps, si l'on prend pour sa mesure les fluctuations de la faune marine, peut avoir suffi pour exhausser ou abaisser des continents entiers, l'action eût-elle été aussi lente que celle qu'on observe de nos jours en Suède et dans le Groënland.

Enfin, le lecteur se rappellera ce que nous avons dit, dans les chapitres XI et XII, sur les changements géographiques considérables de l'époque Post-pliocène, et notamment sur

les transports glaciaires et les matériaux charriés au loin. Une vaste portion de l'étendue des îles Britanniques paraît avoir séjourné au-dessous de la mer ; à tel ou à tel moment de cette époque, la plupart des surfaces submergées auraient été par la suite converties en continents atteignant, sur quelques points, plusieurs centaines de mètres de hauteur, et dans les Galles plus de 400 mètres, comme le prouvent les coquilles fossiles marines. Une opinion très-généralement répandue veut que la surface du Weald ait été une terre ferme lorsque commença le transport si caractéristique du nord ; en effet, on n'a découvert aucune trace d'erratiques du nord plus loin, vers le sud, que Highgate près de Londres. Mais il ne s'ensuit nullement que l'étendue du Weald soit restée stationnaire pendant cet intervalle. Cette formation a pu être soulevée et déprimée, et sa surface modifiée et remodifiée, durant la période glaciaire, par la pluie, les rivières et les inondations provenant des fontes soudaines et réitérées de la neige (1).

Le Docteur Mantell a observé depuis longtemps qu'on ne trouve aucun vestige de la craie et de ses silex sur la crête centrale du Weald ou sur les sables de Hastings, mais seulement du gravier et du limon, originaires des roches en place des environs. Cette distribution de l'alluvion, et spécialement l'absence de silex de la craie dans le district central, concorde bien avec la théorie d'une dénudation antérieure ; car, pour revenir à la fig. 356, p. 558, si la craie (n° 2) fut jadis continue et couverte partout de gravier siliceux, cette enveloppe superficielle aura disparu de la partie supérieure du dôme, longtemps avant qu'aucune portion du Gault (n° 3) ait été dénudée ; et, si quelques débris de craie sont restés d'abord sur le Gault, ils auront été infailliblement entraînés à leur tour avant qu'aucun point du Grès Vert Inférieur

(1) Dans mes *Preuves géologiques de l'antiquité de l'homme*, pp. 276, 278, j'ai donné des cartes qui montrent les changements survenus dans la géographie physique pendant la période Post-pliocène, en ayant recours pour ce travail aux cartes et mémoires de MM. Trimmer, Godwin-Austen et autres.

(n° 4) ait subi de dénudation. Ainsi, suivant le nombre et l'épaisseur des groupes enlevés successivement, il devient de moins en moins probable de trouver quelques restes du groupe supérieur, répandus sur la surface dénudée de celui qui était situé tout à fait inférieurement.

Mais, dira-t-on, s'il est vrai que la mer ait été, à une ou plusieurs époques, l'agent de dénudation, on devrait rencontrer au pied des escarpements d'anciennes plages marines et d'autres signes de l'érosion produite par les flots de l'océan. En général, les débris de la craie blanche et les silex ne se portent qu'à une courte distance des escarpements des Downs du Nord et du Sud. Là même où il y a exception, dans les endroits où l'on rencontre des silex à 3 ou 4 kilomètres du dépôt crayeux le plus voisin, ces silex présentent une forme si anguleuse, qu'ils indiqueraient, suivant plusieurs géologues, une dénudation plutôt fluviale que marine. Sans vouloir contredire la doctrine qui attribue la plupart des derniers changements superficiels du Weald à l'action de la pluie et des rivières, combinée avec un exhaussement et un abaissement successifs de la terre, je rappellerai, néanmoins, au lecteur combien il est souvent impossible, en l'absence de débris organiques, de distinguer le gravier formé dans le lit d'une rivière de celui qui s'est accumulé sur un rivage de la mer. En effet, si l'on examine des silex brisés à la base d'une falaise, sur des points où l'action violente et continue des vagues ne se fait pas sentir d'une manière particulière, on observe que ces silex y conservent en grande partie leur angularité. On en voit des exemples dans les rochers de Old-Harry, Dorsetshire, et de Christ church, Hampshire. Sur une grande partie de cette ligne de côtes, les falaises sont formées de couches tertiaires, surmontées d'une enveloppe épaisse de gravier dont les silex sont légèrement corrodés. Comme la destruction des falaises est rapide, les matériaux anciens sont graduellement remplacés par de nouveaux, et néanmoins ils offrent un exemple frappant d'angles bien conservés après deux périodes d'attrition, la première où le

gravier fut répandu sur les dépôts Éocènes, la seconde où les sables et argiles Éocènes, minés par les eaux, donnèrent naissance aux escarpements actuels. Quant à l'angularité des silex, elle est attribuée, par certaines autorités géologiques, à la grande violence avec laquelle se fait le déplacement, spécialement lorsque, dans les galets enlevés aux couches Éocènes par les eaux, on en trouve de parfaitement arrondis et d'autres brisés, aux arêtes vives, avec des éclats irréguliers qui sembleraient en avoir été détachés à coup de marteau. Ces galets fracturés se rencontrent assez souvent dans le drift de la vallée de la Tamise. Pour expliquer ce fait, je ferai observer que, dans les lits caillouteux de Blackheath et autres de l'Éocène, on trouve des silex roulés, ayant la forme d'œufs, dans un tel état d'altération qu'il suffirait, pour les fracturer

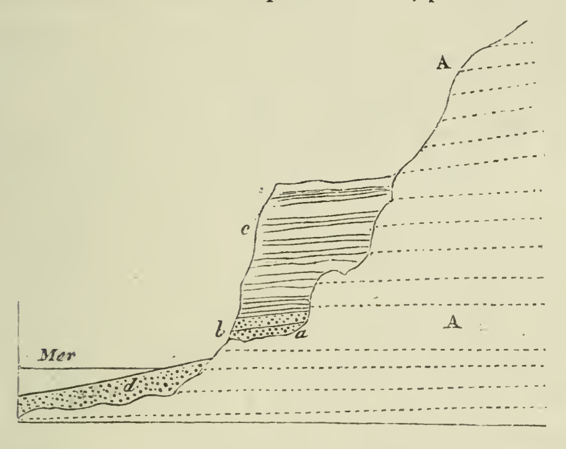


FIG. 366. — A. Craie avec lits de silex, plongeant légèrement au sud. — *b*. Berge ancienne, consistant en sable fin, de $0^{m},30$ à $1^{m},20$ d'épaisseur, recouverte sur une hauteur de 1 à 2 mètres de cailloux roulés de silex de la craie, de granit et d'autres roches, pêle-mêle avec des coquilles brisées d'espèces marines récentes et des os de Cétacés. — *c*. Lit à Éléphants, d'environ 15 mètres d'épaisseur, composés de craie blanche caillouteuse, avec silex de la craie brisés ; ces lits sont souvent plus confusément stratifiés qu'on ne les a représentés ici ; dans le dépôt, on rencontre des ossements de bœuf, de daim, de cheval et de mammouth. — *d*. Sable et cailloux de la plage actuelle.

de la même manière, d'un choc modéré, analogue à celui que subissent les pierres dans le lit d'une rivière grossie ou sur les côtes de la mer.

La brèche à silex anguleux n'est point limitée au Weald, ni aux gorges transversales de la craie, mais elle s'étend le long de la côte voisine, de Brighton à Rottingdean, où elle a été appelée par le Docteur Mantell *lit à Éléphants*, à cause des débris de mammouth, *E. primigenius*, qui s'y rencontrent en abondance avec des os de cheval et plus rarement de rhinocéros, *R. tichorinus*. Voici la coupe de cette formation, prise à la falaise de Brighton (1).

Pour expliquer cette coupe, nous devons supposer qu'après l'excavation de la roche A, la plage de sables et de galets *b* dut sa formation à l'action lente et continue de la mer. La présence de la *Littorina littorea* et d'autres coquilles littorales récentes assigne à cette accumulation une date moderne. Les lits qui la recouvrent sont composés de galets calcaires et de silex grossièrement stratifiés, semblables à ceux que l'on rencontre fréquemment sur les côtes de Norfolk avec le drift glaciaire, dépôt probablement d'origine contemporaine. Des cailloux et des détritus calcaires analogues ont été signalés dernièrement par Sir Roderich Murchison à Folkestone et dans les falaises de Douvres ; on a découvert sur ces différents points des dents d'éléphant fossile.

M. Prestwich a remarqué qu'à Sangatte, près de Calais, sur la partie de la côte qui fait directement face à Douvres, il existe une plage pareillement usée par les eaux et recouverte d'une brèche à silex anguleux. J'ai moi-même reconnu que ce dépôt était tout à fait analogue à celui de Brighton. L'ancienne plage qui servait de base s'est élevée de plus de 3 mètres au-dessus de son niveau primitif. Les silex qu'elle renferme ont évidemment été arrondis au pied d'une ancienne falaise de craie dont on peut suivre la direction parallèle à la rive actelle, et qui est séparée de la mer par un intervalle de 500 mètres environ, dans sa plus grande largeur.

Des blocs erratiques de date un peu plus ancienne que le dépôt de la plage de Brighton se montrent en grande quantité

(1) Voyez aussi Sir R. Murchison, *Geol. Quart. Journ.*, vol. VII, p. 365.

dans les localités de Pagham et de Selsea, situées à 12 kilomètres du sud de Chichester. Ils consistent en rochers granitiques et autres, qui, loin d'accuser une origine septentrionale, semblent avoir été transportés à leur place actuelle par les glaces côtières de la Normandie et de la Bretagne ; ils recouvrent un dépôt Post-pliocène, d'origine marine. Comme la plage Brighton, ces blocs tendraient à prouver que, durant la période glaciaire, une côte marine limitait le district élevé du Weald, à la partie méridionale des Downs actuels du sud.

Le Professeur Ramsay (1), d'accord avec quelques géologues distingués, qui admettent pleinement que la dénudation de la surface du Weald, ainsi que des Downs du nord et du sud, est due principalement à l'action de la mer, penche, néanmoins, à attribuer la formation des grands escarpements de la craie à l'érosion pluviale et fluviatile ; selon cet auteur, la mer, après sa retraite définitive, aurait laissé les couches secondaires sur le même plan et au même niveau. Mais cette hypothèse ne me paraît pas soutenable ; car, en supposant que la dernière couche sous-marine provenant de la dénudation ait présenté, avant son émersion, une surface plane et nivelée, je ne saurais concevoir comment les inégalités considérables de la superficie auraient pu être produites sans l'action des vagues et du flux de la mer, pendant l'époque où la Craie, le Gault, le Grès Vert et autres formations. composées les unes de matériaux durs, les autres de matériaux tendres, s'élevaient graduellement au-dessus des eaux. C'est pendant cet exhaussement que doit avoir commencé le creusement des grandes vallées longitudinales, et quant aux vallées transversales, s'il est vrai, comme l'a prétendu M. Jukes, qu'on doive en attribuer l'origine à l'érosion fluviatile qui se serait exercée à une époque très-reculée, lorsque la craie s'étendait plus loin qu'aujourd'hui vers l'axe

(1) Voir la *Géol. phy. et la Géog. de la Grande-Bretagne* par le Professeur Ramsay, 2e édit. Londres, 1864.

central du Weald, toujours est-il que leur approfondissement consécutif doit être en partie le résultat de l'action des marées. Les géologues déjà mentionnés assignent aux causes purement atmosphériques une influence dont nous ne reconnaissons qu'une faible partie, et nous n'éprouvons aucune difficulté pour expliquer comment ont pu disparaître toutes traces de la mer, soit dans la forme des coquilles littorales, soit dans les dépôts des plages. Les coquilles autrefois répandues sur les anciens rivages sont souvent décomposées au point que l'on ne peut leur assigner une date paléontologique précise ; mais les inégalités des collines et des vallons, les lignes prolongées d'escarpement, les vallées transversales et longitudinales, tous ces phénomènes peuvent être considérés comme le produit de l'action des vagues et des courants de la mer.

Désespérant de pouvoir résoudre par des causes ordinaires le problème de la configuration géographique et de la structure géologique actuelle du Weald, quelques géologues ont supposé des « irruptions d'eau salée » qui auraient eu lieu sur les terres lors de l'exhaussement subit du lit de la mer, à l'époque où se dessina l'axe anticlinal du Weald. D'autres géologues ont imaginé de volumineux courants d'eau douce qui auraient jailli de réservoirs souterrains, à un moment où les roches étaient agitées par des tremblements de terre d'une violence extrême. Ces savants ont invoqué avec autorité l'unité de causes et de résultats ; selon eux, la catastrophe aurait été soudaine, tumultueuse et paroxysmale ; d'énormes fragments de pierres auraient été entraînés à de grandes distances, sans être fracturés ; l'alluvion se serait répandue sans stratification, souvent dans les positions les plus étranges, sur les flancs ou sur le sommet des montagnes par exemple, tandis que les parties basses en auraient été complétement dépourvues. Les convulsions se seraient fait sentir simultanément sur des espaces si étendus, que tous les individus de certaines espèces de quadrupèdes auraient été détruits à la fois ; cet événement, enfin, serait de date comparativement récente,

car les espèces de testacés qui vivent aujourd'hui existaient déjà.

Cette hypothèse n'est pas soutenable, et de plus elle n'est pas nécessaire. Je viens de montrer combien avaient été nombreuses les périodes de changements géographiques, et combien avait été grande leur durée. J'invoque, comme preuves, la position relative de la craie et des dépôts tertiaires susjacents, la nature, le caractère et la place de ces couches tertiaires ; enfin, les alluvions qui se trouvent à la surface du Weald et des contrées qui l'avoisinent. Quant au détritus superficiel, il ne faut pas perdre de vue que son volume est insignifiant, relativement à celui des roches qui ont pu disparaître. Il est évident qu'une masse montagneuse de matière solide, de plusieurs centaines de kilomètres carrés de surface sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, a été emportée. A quelle distance l'a-t-elle été ? C'est ce que nous ne savons pas ; mais certainement elle a dépassé les limites du Weald. Pour un pareil travail, à en juger par analogie, tout agent transitoire et instantané serait insuffisant. La seule puissance capable de l'accomplir, c'est la force mécanique de l'eau tenue en mouvement et opérant graduellement pendant des siècles. Nous avons déjà démontré, dans le sixième chapitre, que chaque portion stratifiée de la croûte terrestre est le monument d'une dénudation opérée sur une grande échelle, mais toujours avec lenteur ; toutes les couches superposées, quelque minces qu'elles soient, représentent des élaborations successives et séparées. Donc, chaque fois que l'on prétend circonscrire le temps pendant lequel s'est effectuée une grande dénudation, ancienne ou récente, on est conduit à nier gratuitement le seul pouvoir mécanique connu qui soit susceptible de produire de tels résultats.

Si, par conséquent, à chaque époque, depuis la période la plus ancienne jusqu'au Pliocène inclusivement, des masses volumineuses de matières, comme celles qui manquent dans le Weald, ont été transportées d'une place à l'autre et l'ont toujours été graduellement, c'est folie d'imaginer qu'une

exception ait eu lieu dans la région même où l'on peut prouver que le premier et le dernier acte de dénudation ont été séparés par un si long intervalle de temps ; ce que nous démontrerions immédiatement, si le temps et l'étendue des sujets géologiques encore à examiner nous le permettaient.

CHAPITRE XX

GROUPE JURASSIQUE. — COUCHES DU PURBECK ET DE L'OOLITHE.

Les couches du Purbeck constituent un membre du groupe Jurassique. — Sous-divisions de ce groupe. — Géographie physique de l'Oolithe en Angleterre et en France. — Oolithe supérieure. — Couches du Purbeck. — Nouveaux genres de Mammifères fossiles dans le Purbeck moyen du Dorsetshire. — Lit de boue, ou sol ancien. — Fossiles des couches du Purbeck. — Pierre de Portland et ses fossiles. — Pierre lithographique de Solenhofen. — *Archæopteryx*. — Oolithe Moyenne. — Coral Rag. — Zoophytes. — Calcaire à Nérinées. — Calcaire à Dicéras. — Argile d'Oxford. — Ammonites et Bélemnites. — Roche de Kelloway. — Oolithe Inférieure, Crinoïdes. — Grande Oolithe et argile de Bradford. — Schiste de Stonesfield. — Mammifères fossiles. — Ressemblance avec la faune Australienne. — Schistes du comté de Northampton. — Bassin houiller Oolithique du Yorkshire. — Charbon de Brora. — Terre à foulon. — Oolithe Inférieure et ses fossiles. — Relations paléontologiques de plusieurs sous-divisions du groupe Oolithique.

Immédiatement au-dessous des Sables de Hastings (membre inférieur du Weald, d'après la définition donnée dans le dix-huitième chapitre), on trouve dans le Dorsetshire une autre formation remarquable d'eau douce qui a reçu le nom de *Purbeck*, parce que c'est dans les falaises de la péninsule de Purbeck qu'on en a fait la première étude. Anciennement, les couches de cette formation avaient été groupées avec celles du Weald, mais des débris organiques, découverts tout récemment dans certains lits marins de la série, ont montré que celle-ci se rattachait étroitement au groupe Oolithique, dont on peut la considérer comme le membre le plus nouveau et le plus élevé.

Généralement, en Angleterre, comme dans la plus grande partie de l'Europe, le Weald et le Purbeck manquent, et le groupe marin Crétacé est immédiatement suivi, dans l'ordre descendant, par une autre série appelée Jurassique. Ce dernier terrain comprend les formations ordinairement dési-

gnées sous les noms de « Oolithe et Lias », que l'on observe dans les montagnes du Jura. L'Oolithe a été ainsi nommée, parce que, dans les pays où elle fut observée pour la première fois, les calcaires qui la composent présentent la structure oolithique (voy. p. 20). Ces roches occupent en Angleterre une zone d'environ 48 kilomètres de largeur, et traversent l'île, depuis le Yorkshire dans le nord-est jusqu'au Dorsetshire dans le sud-ouest. Leurs caractères minéralogiques ne sont pas uniformes sur toute cette région, mais voici les noms des principales sous-divisions observées dans le centre et le sud-est de l'Angleterre :

OOLITHE.

Supérieure....	*a.* Lits du Purbeck.
	b. Pierre et sable de Portland.
	c. Argile de Kimmeridge.
Moyenne......	*d.* Coral Rag.
	e. Argile d'Oxford et roche de Kelloway.
Inférieure.....	*f.* Cornbrash et Forest Marble.
	g. Grande Oolithe et schiste de Stonesfield.
	h. Terre à foulon.
	i. Oolithe Inférieure.

Le Lias succède à l'Oolithe Inférieure.

Le système Oolithique Supérieur de ce tableau a généralement pour base l'argile de Kimmeridge ; le système Oolithique Moyen se termine par l'argile d'Oxford. Le système Inférieur repose sur le Lias, formation argilo-calcaire qui pénètre un peu dans l'Oolithe Inférieure, mais dont nous parlerons séparément dans le chapitre suivant. Des débris organiques particuliers distinguent plusieurs de ces sous-divisions ; et, quoique celles-ci varient dans leur épaisseur, on peut quelquefois les suivre sur de longues distances, surtout si l'on compare, avec le nord-est de la France et les montagnes du Jura, la partie de l'Angleterre à laquelle le type en question se rapporte. Dans ces contrées, distantes de notre île de plus de 650 kilomètres, la série, malgré le peu d'épaisseur ou l'absence accidentelle de l'argile, offre avec le type anglais ordi-

naire une analogie beaucoup plus frappante que celle qu'on rencontre dans le Yorkshire ou la Normandie.

Géographie physique. — Les alternances, sur une grande échelle, de formations distinctes d'argile et de calcaire, ont imprimé, en Angleterre et en France, une physionomie particulière aux séries oolithique et liasique. Il existe à travers de longues étendues de pays des vallées profondes où affleurent les couches argileuses; entre ces vallées, les calcaires constituent des rangées de collines ou de montagnes qui se terminent sous forme abrupte vers les points où les argiles s'élèvent de dessous les couches calcaires.

La coupe suivante donnera une idée de la configuration du terrain en question, telle qu'on peut l'observer de Londres

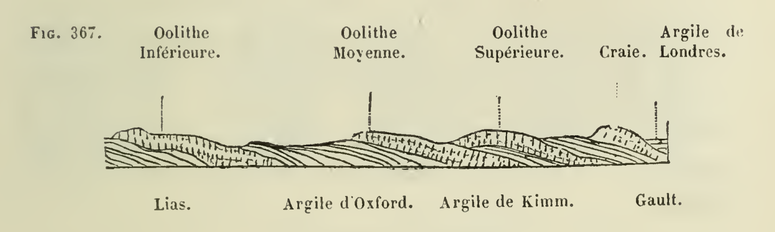


FIG. 367.

à Cheltenham, ou sur d'autres lignes parallèles, de l'est à l'ouest, dans le sud de l'Angleterre. Dans cette coupe, j'ai exagéré de beaucoup l'inclinaison des lits, et la hauteur de plusieurs des formations comparativement à leur étendue horizontale. On remarquera que les lignes d'escarpement font face, du côté de l'ouest, à de hautes éminences calcaires formées par la Craie et par les Oolithes Supérieure, Moyenne et Inférieure, vers la base desquelles on trouve respectivement le Gault, l'Argile d'Oxford, celle de Kimmeridge, ainsi que le Lias. Ce dernier constitue généralement une longue vallée au pied de l'Oolithe Inférieure; mais, sur les points où il acquiert une épaisseur considérable et renferme des couches solides de marne, il occupe la partie inférieure de l'escarpement.

La configuration extérieure du pays que le géologue observe de Paris à Metz est exactement semblable; elle est due à une

même succession de roches, interposées entre les couches tertiaires et le Lias, avec cette différence, cependant, que les escarpements de la Craie et des Oolithes Supérieure, Moyenne et Inférieure regardent à l'est et non à l'ouest.

La Craie affleure de dessous les sables et argiles tertiaires du bassin de Paris, près d'Épernay; le Gault se montre pareillement au-dessous de la Craie et du Grès Vert Supérieur à Clermont en Argonne. En allant de cette ville à Metz, par Verdun et Étain, on rencontre deux rangées de collines calcaires avec vallons dans l'argile, exacte reproduction de celles du sud et du centre de l'Angleterre; enfin, on arrive à la grande plaine du Lias, qui se trouve à la base de l'Oolithe Inférieure à Metz.

Il est donc évident que les causes de dénudation ont agi d'une manière uniforme sur une surface de plusieurs centaines de kilomètres, attaquant les argiles tendres beaucoup plus largement que les calcaires, et imprimant à ces dernières roches la forme d'escarpements abrupts, sur les différents points où elles avaient pour base une argile plus facile à détruire.

OOLITHE SUPÉRIEURE.

Couches du Purbeck. — (*a*, Tableau, p. 586.) — Ces couches, que nous classons comme le membre le plus élevé de l'Oolithe, occupent en Europe une étendue géographique très-limitée, mais elles acquièrent de l'importance en ce qu'elles offrent une succession de trois groupes fossilifères distincts. De pareils changements dans la vie organique ont exigé une longue suite de siècles. Les couches du Purbeck sont magnifiquement représentées dans la baie de Durdlestone près de Swanage, Dorsetshire, et à Lulworth-Cove, ainsi que dans les baies environnantes, entre Weymouth et Swanage. Dans la baie de Meup, en particulier, M. Forbes a étudié minutieusement, en 1850, les restes fossiles de ce groupe à travers une section continue de falaises, et a fourni de larges additions aux renseignements contenus dans les ouvrages de

MM. Webster, Fitton, De la Bèche, Buckland et Mantell. Il a constaté que les Purbeck Supérieur, Moyen et Inférieur sont caractérisés par des espèces particulières de débris organiques, et que ces espèces diffèrent, autant du moins que l'on a pu établir une comparaison, de celles des Sables de Hastings qui gisent au-dessus, et de celles de l'Argile Wealdienne (1).

Purbeck Supérieur. — La plus élevée des trois divisions est exclusivement une formation d'eau douce ; ses couches, qui ont environ 15 mètres d'épaisseur, renferment des coquilles des genres *Paludina*, *Physa*, *Lymnæa*, *Planorbis*, *Volvata*, *Cyclas* et *Unio*, avec des *Cypris* et des poissons. Toutes les espèces semblent particulières ; parmi elles dominent des Cypris caractéristiques (fig. 368, *a*, *b*, *c*).

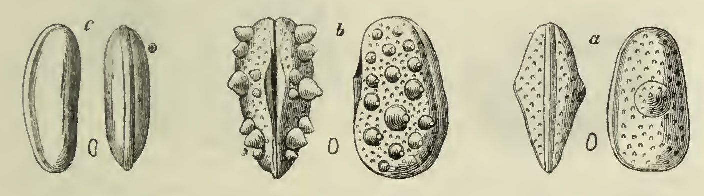


FIG. 368. — Cypris du Purbeck Supérieur.
a. Cypris gibbosa, E. Forbes. — *b. Cypris tuberculata*, E. Forbes.
c. Cypris leguminella, E. Forbes.

La pierre nommée Marbre de Purbeck, dont on a fait usage autrefois dans l'architecture des vieilles cathédrales dans les comtés méridionaux d'Angleterre, appartient exclusivement à cette division.

Purbeck Moyen. — Cette division mesure environ 9 mètres d'épaisseur ; sa partie supérieure est un calcaire d'eau douce contenant des Cypris, des tortues et des poissons tout à fait différents de ceux des lits précédents. Au-dessous du calcaire sont des formations d'eau saumâtre, remplies de *Cyrena*, et alternant avec des bancs qui abondent en *Corbula* et *Melania*. Celles-ci reposent sur un dépôt purement

(1) *Sur les Purbeck du Dorsetshire*, par Ed. Forbes (*Brit. Assoc. Edimb.*, 1850).

marin avec *Pecten*, *Modiola*, *Thracia* et *Avicula*, d'espèces toutes nouvelles. On rencontre ensuite, toujours dans l'ordre descendant, des calcaires et des schistes, originaires en partie de l'eau saumâtre et en partie de l'eau douce, et qui contiennent une grande quantité de poissons, surtout des espèces *Lepidotus* et *Microdon radiatus*, ainsi qu'un reptile crocodilien auquel on a donné le nom de *Macrorhynchus*. Parmi les Mollusques, on cite une remarquable *Melania* à côtes, de la section des *Chilina*.

Immédiatement au-dessous est la grande et belle couche, de 3 mètres d'épaisseur, depuis longtemps connue des géo-

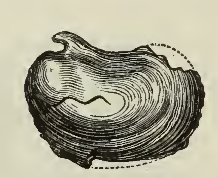


Fig. 369. — *Ostera distorta*. Cinder-bed, Purbeck Moyen.

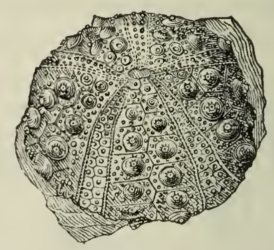


Fig. 370. — *Hemicidaris Purbeckensis*, E. Forbes. Purbeck Moyen.

logues sous le nom local de « *Cinder-bed* » (lit de cendre); elle est formée d'une immense agglomération de coquilles d'*Ostræa distorta* (fig. 369). Dans la partie tout à fait supérieure de ce lit, Forbes a découvert le premier échino-

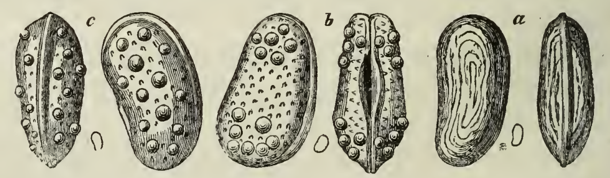


Fig. 371. — Cypris du Purbeck Moyen.
a. Cypris striato-punctata, E. Forbes. — *b. Cypris fasciculata*, E. Forbes.
c. Cypris granulata, Sow.

derme (fig. 370) que l'on eût encore vu dans la série du Purbeck : c'est une espèce d'*Hemicidaris*, genre caractéristique de la période Oolithique, que l'on a de la peine à distin-

guer, si toutefois on la distingue, d'une autre espèce oolithique déjà connue. Cet échinoderne était accompagné d'une *Perna*. Au-dessous du *Cinder-bed* on revoit de nouveaux lits d'eau douce, remplis en plusieurs endroits de diverses espèces de *Cypris* (fig. 371, *a*, *b*, *c*), de *Valvata*, *Paludina*, *Planorbis*, *Lymnæa*, *Physa* (fig. 372) et *Cyclas*, toutes différentes de celles que l'on rencontre plus haut dans la série. La *Cypris fasciculata* (fig. 371) n'a de tubercules qu'aux extrémités de chaque valve ; c'est un caractère qui permet de la reconnaître immédiatement. En résumé, ces petits crustacées, aussi abondants dans quelques argiles schisteuses que les lamelles de mica dans les grés micacés, font retrouver le Purbeck Moyen, même dans les localités éloignées du comté de Dorset, par exemple dans le vallon de Wardour, Wiltshire. On observe aussi dans le Purbeck Moyen des lits épais et siliceux de chert, remplis de Mollusques et de Cypris appartenant aux genres précédemment énumérés : ces fossiles présentent le plus bel état de conservation ; ils sont souvent convertis en calcédoine. Forbes a recueilli également dans ces couches des gyrogonites (sporanges de *Chara*), plantes que l'on n'avait pas encore découvertes, jusqu'en 1851, dans les roches plus anciennes que l'Éocène.



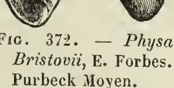


Fig. 372. — *Physa Bristovii*, E. Forbes. Purbeck Moyen.

Mammifères fossiles du Purbeck moyen. — Dans la quatrième édition de cet ouvrage (1852), après avoir parlé de la découverte de nombreux insectes et de mollusques terrestres dans le Purbeck, je disais : « Quoique l'on n'ait encore rencontré jusqu'à ce moment aucun mammifère dans la formation, il est encore trop tôt pour conclure définitivement d'après des caractères purement négatifs qu'il n'en existait pas. » Seulement deux ans après l'impression de cette remarque, M. W. R. Brodie trouva dans le Purbeck moyen, à 6 mètres environ du Cinder-bed, dans la baie de Durdlestone, quelques fragments de petites mâchoires avec des dents que le Professeur Owen reconnut,

après les avoir dégagées de la gangue, appartenir à un petit mammifère insectivore. Ces dents, munies de pointes en forme de croissants, ressemblent un peu à celles de la Taupe du Cap (*Chrysochlora aurea*); mais le nombre des molaires (dix au moins à chaque branche de la mâchoire inférieure) s'accorde mieux avec les mammifères éteints de l'Oolithe de Stonesfield (voir plus bas, p. 625). Ce quadrupède récemment découvert semble, néanmoins, se rapprocher bien plus, sous le rapport de la dentition, de l'*Amphitherium* (ou *Thylacotherium*), que d'aucun autre type actuel de l'ordre des insectivores. L'apophyse angulaire de la mâchoire, comme dans l'*Amphitherium*, n'est point courbée en dedans, ainsi qu'on l'observe particulièrement chez les Marsupiaux, et M. Owen en a conclu que le *Spalacotherium* devait être rangé dans la classe ordinaire des mammifères monodelphes ou placentaires.

Quatre ans plus tard (1856), M. S. H. Beckles exhuma les restes de plus de douze espèces de quadrupèdes à sang chaud, de cette couche mince de marne avoisinant la base du Purbeck moyen. Ce dépôt produisit de nombreux reptiles, plusieurs insectes, et quelques coquilles d'eau douce des genres *Paludina*, *Planorbis* et *Cyclas*.

M. Beckles résolut alors d'explorer entièrement la couche mince de sédiment calcaire qui avait déjà fourni, aux environs de Swanage, les ossements du *Spalacotherium*. Dans l'espace de trois semaines, on obtint d'une surface ne dépassant pas 12 mètres de long sur 3 mètres de large, et d'une couche épaisse seulement de 12 centimètres, les débris de squelettes de six espèces nouvelles de mammifères, décrits et déterminés par le Docteur Falconer, qui les examina le premier. Avant le commencement de 1857, les espèces reconnues par cet éminent zoologiste s'élevaient au nombre de sept à huit, sans y comprendre les deux déjà trouvées par M. Brodie, et qui avaient été dénommées par le Professeur Owen. Ces intéressantes recherches n'étaient pas encore terminées, que les travaux réunis du Professeur

Owen et du Docteur Falconer avaient démontré que douze espèces, ou même un plus grand nombre, de mammifères caractérisaient cette partie du Purbeck moyen, et que la plupart de ces animaux insectivores ou carnassiers avaient des grandeurs variant depuis celle de la taupe jusqu'à celle du putois commun, *Mustela putorius*. Parmi tous ces genres qui ont le caractère des marsupiaux insectivores, le Docteur Falconer reconnut un type différant absolument des autres, et présentant une grande ressemblance avec le Kanguroo-Rat actuel, ou *Hypsiprymnus*. On ne compte pas moins de dix espèces de ce dernier, qui habitent aujourd'hui les prairies et les jungles d'Australie, où ils vivent de plantes et de racines, qu'ils découvrent en grattant le sol. Leur dentition présente une particularité frappante, qui les distingue de tous les autres quadrupèdes : l'animal ne possède qu'une grosse prémolaire dont l'émail est creusé de sillons verticaux, ordinairement au nombre de 7 (voyez *l*, fig. 373 qui représente la prémolaire de l'*Hypsiprymnus Gaimardi* récent).

La plus grosse prémolaire, dans le genre fossile, montre de même 7 sillons parallèles qui produisent, par leur terminaison, un bord semblablement dentelé à la couronne; mais leur direction est diagonale, caractère distinctif qui, selon Falconer, doit être considéré comme secondaire (*trivial*), et non comme entraînant une différence de type (*typical*).

Cette obliquité des sillons constituant donc un caractère si tranché dans la majorité des dents, le Docteur Falconer a proposé, pour les fossiles en question, le nom générique de *Plagiaulax*. La forme et les dimensions relatives de l'incisive (*a*, fig. 373 et 374) montrent une similitude non moins frappante avec l'*Hypsiprymnus*. Néanmoins, la courbure de cette incisive vers le haut, qui est plus brusque, surtout dans les grandes espèces, le nombre et le caractère des dents, aussi bien que le raccourcissement, la hauteur et l'état comprimé de la mâchoire inférieure, sont autant de caractères qui, réunis à la projection en arrière du condyle

(*d*, fig. 373), constituent de grandes différences entre le *Plagiaulax* et les Kanguroos-Rats actuels.

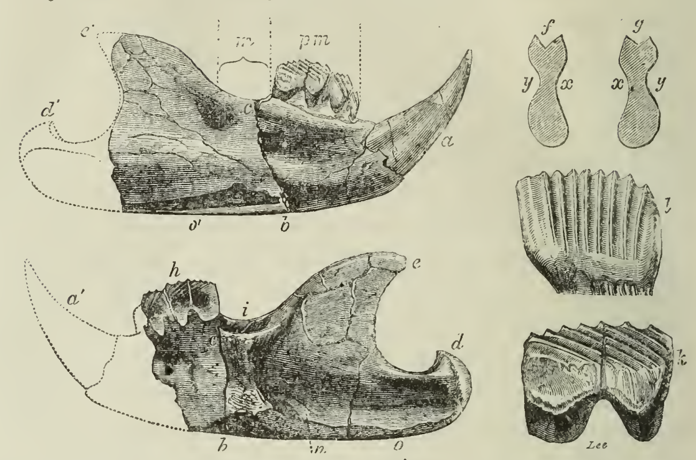


Fig. 373. — *Plagiaulax Becklesii*, Falc.

Les deux figures ci-dessus représentent la branche droite d'une mâchoire inférieure visible sur les faces opposées d'une pierre divisée en deux parties ; les empreintes réunies de ces deux faces permettent de restaurer complétement la mâchoire.

Figure supérieure (*face externe*).

a, *b*, *e'*. Branche droite de la mâchoire inférieure, double de sa grandeur naturelle. — *a*, *b*. Côté externe. — *b*, *o'*, *d'*, *e'*. Empreinte du côté interne.

a. Incisive. — *b*, *c*. Ligne de fracture verticale derrière les prémolaires. — *d'*. Empreinte du condyle sur la pierre qui constitue la gangue. — *e'*. Empreinte du sommet de l'apophyse coronoïde. — *f*. Coupe de la partie antérieure de la mâchoire suivant la fracture *b*, *c*. — *x*. Surface interne. — *y*. Surface externe. (L'échancrure à la partie supérieure correspond à l'alvéole de l'une des vraies molaires à double racine.) — *g*. Coupe de la portion postérieure près *b*, *c*. *x*. Surface interne. *y*. Surface externe. — *o'*. Interruption du pli infléchi du bord interne engagé dans la gangue. — *m*. Alvéoles de deux molaires. — *p*, *m*. Trois prémolaires, la troisième et dernière, fissurée.

Figure inférieure (*face interne*).

a', *d*. La même portion de mâchoire inférieure sur la face opposée de la pierre. — *b*, *d*, *e*. Face interne. — *b*, *a'*, *h*. Moule et empreinte de la face externe.

a'. Contour restauré de l'incisive. — *b*, *c*. Ligne de fracture verticale. — *d*. Condyle. — *e*. Apophyse coronoïde. — *h*. Empreinte des trois prémolaires sur la gangue. — *i*. Alvéoles vides de deux vraies molaires. — *n*. Orifice du canal dentaire. — *o*. Indication du pli relevé et infléchi du bord postérieur interne. — *k*. La troisième, ou la plus grosse prémolaire, 5 fois 1/2 son diamètre naturel, montrant les 7 sillons en diagonale. — *l*. Prémolaire correspondante chez l'*Hypsiprymnus Gaimardi* vivant de l'Australie, montrant les 7 sillons verticaux, grossie 3 fois et 1/2.

Nous ne connaissons pour le moment que deux spécimens fossiles de mâchoires inférieures (1), appartenant

(1) Trois nouveaux spécimens du P. Becklesii ont été trouvés depuis munis de deux arrière-molaires entières. Ils confirment la conclusion précédemment prise par Falconer, quant à la parenté de *Plagiaulax* avec le *Microlestes*.

évidemment à deux espèces distinctes, de taille très-inégale, et différentes, du reste, par d'autres caractères. La plus grande espèce, P. Becklesii (fig. 373), avait environ la grosseur de l'écureuil d'Angleterre ou du Phalanger volant d'Australie (*Petaurus Australis*, Waterhouse). Le squelette de ce Phalanger (*P. macrurus*, n° 1849, Muséum du collége des Chirurgiens), mesure 38 centimètres en longueur, non compris la queue, qui a 27 centimètres de long. Le fossile plus petit (*P. minor*, fig. 374), qui n'a fourni que la moitié

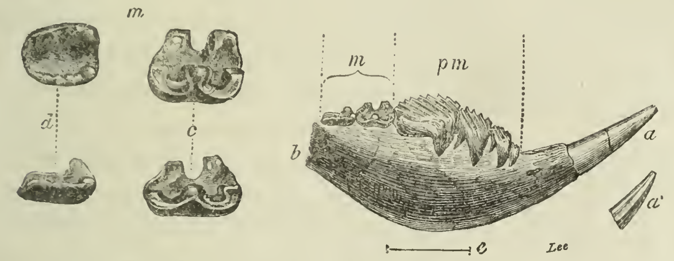


FIG. 374. — *Plagiaulax minor*, Falc., grossi 4 fois.

Les dents, toutes en place dans cet échantillon, sont bien conservées. Il manque seulement la portion postérieure de l'os de la mâchoire, avec la branche montante et l'angle postérieur.

a, *b*. Branche droite de la mâchoire inférieure, avec toutes ses dents, grossie 4 fois. — *a*. Incisive, dont la pointe est brisée. *a'*. Empreinte de l'incisive montrant que le côté interne, près du sommet, était creux longitudinalement. — *b*. Affleurement du coronoïde, le reste manque. — *m*. Les deux vraies molaires. — *p*, *m*. Les quatre prémolaires. — *c*. La première prémolaire, grossie 8 fois (figure supérieure, sa couronne; figure inférieure, profil). — *d*. Deuxième molaire, couronne et profil. — *e*. Ligne droite, indiquant la longueur de la mâchoire de grandeur naturelle.

des dimensions linéaires du premier, n'avait probablement qu'un douzième de sa grosseur. Pour le géologue, toutefois, il offre un intérêt particulier, parce que les deux arrière-molaires, comme l'a montré Falconer, présentent une ressemblance incontestable avec celles du *Microlestes* triasique (*b*, *c*, fig. 374), le plus ancien des mammifères connus, et dont nous parlerons dans le chapitre XXII. Lorsque le Docteur Falconer décida, en 1857, que le Plagiaulax était herbivore et appartenait à la classe des Marsupiaux, il le considéra aussi comme ayant la forme d'un rongeur; mais il ne remarqua pas que cet animal, par certains de ses carac-

tères, et spécialement par l'apophyse coronoïde, ressemblait beaucoup plus à celle de certains marsupiaux carnassiers qu'à celle des marsupiaux herbivores. Le Professeur Owen, attachant une plus grande importance à ces caractères, déclare que, pour lui, le Plagiaulax carnivore se nourrissait de petits mammifères insectivores et de lézards (1). Le Docteur Falconer objecte que la courbure vers le haut de l'incisive, qui aurait pu être envisagée comme indiquant un carnassier, dans ce *Plagiaulax* Becklesii, se trouve contrebalancée par la position plus horizontale de la même incisive dans des espèces plus petites (*a*, fig. 374), sans parler de ce fait que dans le Koola existant, qui se nourrit de végétaux (*Phascolarctus cinereus*), l'incisive est également projetée en avant avec une légère inclinaison vers le haut, comme dans le *P. Becklesii* (2). Le même auteur insiste, et avec une assez forte apparence de raison, sur l'analogie de la prémolaire du Plagiaulax (*K*, fig. 374, p. 595) avec celle du Kanguroo-Rat (*l*, *ibid.*). Le lecteur remarquera que, dans le Plagiaulax, les sillons sont rapprochés, parfaitement parallèles, et correspondent numériquement avec ceux de l'Hypsiprymnus vivant. S'il les compare, comme je l'ai fait, avec les sillons sinueux et bifurqués de la prémolaire du fossile Thylacoleo, auxquels le Professeur Owen les assimile, il lui sera difficile, je crois, comme il l'a été au Docteur Falconer, de reconnaître entre eux quelque ressemblance.

Tous les ossements fossiles de mammifères découverts avant l'année 1857, dans les roches plus anciennes que le Tertiaire, consistaient exclusivement en branches de mâchoires inférieures, et, fait assez singulier, c'est dans cette même année 1857 que M. Beckles envoya à Londres le premier spécimen connu de la portion supérieure du crâne d'un mammifère secondaire. Le Docteur Falconer me le montra à cette époque, il comprenait les deux os des frontaux et les deux os pariétaux dans un état parfait de conservation, avec

(1) *Owen's Paleontology*, p. 353.
(2) Falconer, *Geol. Quart. Journ.*, vol. XVIII, p. 357.

la crête sagittale bien marquée, et l'occipital également muni de sa crête. Malgré l'absence des portions latérales et de la base dans la pièce, ce qui en restait suffit pour montrer sa concordance avec le type ordinaire des quadrupèdes vivants à sang chaud.

Dans le même bloc, on rencontra, avec le crâne, un côté entier de la mâchoire inférieure d'un autre quadrupède auquel le Professeur Owen donna le nom générique de *Triconodon*. Cette portion de mâchoire porte huit molaires, une forte et proéminente canine, et une incisive large et épaisse. L'animal devait avoir presque la taille du hérisson commun.

Plusieurs autres mâchoires munies de dents pareillement tricuspides, mais de dimensions plus fortes, ont été recueillies par M. Beckles, et constatent l'existence d'une autre espèce de *Triconodon*, d'une forme plus allongée, et d'environ un tiers plus grande. Le Docteur Falconer les rapporte à la classe des marsupiaux, et il fonde son opinion sur leurs caractères suivants : nombre des vraies molaires, processus angulaire fortement infléchi, largeur et saillie du rebord renversé de la crête qui est découverte sur le côté extérieur, le long du bord inférieur, à partir du condyle, et enfin développement marqué du sillon mylo-hyoïde. Le même auteur ajoute que ces deux espèces de *Triconodon*, si l'on en juge d'après la forme tranchante de leurs dents, d'après le développement des canines relativement considérable, ainsi que d'après les particularités de la branche montante, étaient plutôt de petits carnassiers que de simples marsupiaux insectivores. Il est probable qu'ils se nourrissaient de proies moins exiguës que des insectes.

Le Professeur Owen a proposé le nom de *Galestes* pour le plus grand des mammifères découverts dans le Purbeck en 1858, et dont la taille égalait celle du putois (*Mustela putorius*). Il l'a génériquement classé d'après une modification particulière à une des prémolaires, qui possède un sillon unique, vertical et externe.

Les restes des vingt-huit mammifères distincts du Purbeck trouvés par M. Beckles, ajoutés aux sept spécimens de M. Broodie, consistaient uniquement en maxillaires inférieurs, et en cinq maxillaires supérieurs se rapportant aux premiers; les dix autres spécimens de mammifères oolithiques, appartenant à quatre espèces découvertes à Stonesfield, étaient tous pareillement représentés par des mâchoires inférieures. C'est un fait surprenant que, quarante à cinquante pièces ou portions latérales de mâchoires inférieures munies de leurs dents aient été découvertes au sein des couches oolithiques, et qu'avec ces pièces ne se soient rencontrés que cinq maxillaires supérieurs et une portion de crâne isolée. On ne connaît pas encore d'exemple dans le Purbeck d'un squelette complet, ou d'un grand nombre d'os en juxtaposition. Les débris sont disséminés en divers points de la roche de Purbeck; souvent ils sont dans un état très-avancé de décomposition, et quelquefois en fragments qui paraissent se rapporter à des mammifères; mais si tous étaient employés à reconstituer des squelettes, ils suffiraient à peine pour compléter les cinq individus auxquels ont appartenu les cinq maxillaires supérieurs dont il a été question. Comme le nombre moyen des pièces constituant le squelette de chaque mammifère est d'environ 250, dans le cas actuel il doit manquer plusieurs milliers d'ossements : pour expliquer leur absence, nous serions presque tentés d'adopter l'idée que me suggéra un jour le Docteur Buckland, à propos du problème analogue de Stonesfield : « les cadavres, disait-il, des animaux noyés, lorsqu'ils flottent sur les rivières, gonflés comme ils le sont par les gaz résultant de la putréfaction, ont souvent la mâchoire inférieure pendante, et quelquefois même celle-ci est complétement détachée : le reste du corps flotte à la dérive vers un autre point, où, peut-être, il deviendra la proie d'un reptile ou d'un poisson vorace tels qu'Ichthyosaure ou Requin. »

On peut admettre aussi que, lorsqu'un poisson ou un autre animal aquatique saisit une proie en décomposition qui

flotte à la surface ou gît au fond des eaux, il dévore d'abord avidement les portions charnues, et néglige telle autre partie, comme la mâchoire inférieure, presque exclusivement composée d'os et de dents ; si l'organe osseux vient ensuite à se détacher, il peut se rencontrer quelque courant de médiocre vitesse, qui l'entraînera définitivement sur un fond de sable ou de boue, dans lequel il se trouvera enseveli à distance des autres os.

Comme tous ces fossiles mammifères, appartenant à huit ou neuf genres et à quatorze espèces environ de marsupiaux insectivores, carnassiers et herbivores, proviennent d'une surface qui ne dépasse pas 457 mètres carrés, et d'une seule couche qui ne mesure que quelques centimètres d'épaisseur, nous pouvons en toute sûreté conclure que tous vécurent ensemble dans la même région ; et, suivant toute probabilité, ce n'est ici qu'une fraction des mammifères qui habitèrent des terres baignées par une rivière et ses tributaires. Ils fournissent la première preuve positive connue jusqu'à ce moment de la coexistence d'une faune variée de la classe la plus élevée des vertébrés, avec ce large développement de reptiles qui a laissé des traces à travers toutes les périodes, depuis le Trias jusqu'au Crétacé inférieur inclusivement, — de la coexistence aussi de cette faune avec une flore gymnosperme où les cycadées et les conifères prédominaient sur toutes les autres espèces de plantes, moins les fougères ; ces conclusions reposent sur quelques probabilités, autant du moins que nous pouvons en juger dans l'état imparfait de nos connaissances actuelles sur la botanique fossile.

Par le tableau suivant le lecteur verra d'un seul coup d'œil le remarquable développement que présentent actuellement, sous le rapport numérique, les espèces Mammifères du Purbeck Moyen comparées à celles des autres formations plus anciennes que le gypse de Paris ; en même temps, il appréciera l'énorme hiatus qui s'offre aujourd'hui dans l'histoire des mammifères fossiles, entre les périodes du Purbeck et de l'Éocène.

Nombre et distribution de toutes les espèces connues de mammifères fossiles des couches plus anciennes que le Gypse de Paris ou que la série de Bembridge de l'île de Wight.

TERTIAIRE.	Série de Headon, et couches comprises entre le Gypse de Paris et le Grès de Beauchamp.....	14	10 Anglais. 4 Français.
	Argile de Barton et Sables de Beauchamp..................	0	
	Couches de Bagshot, Calcaire Grossier, et Soissonnais Supérieur de Cuisse-Lamotte......	20	16 Français. 1 Anglais. 3 États-Unis (1).
	Argile de Londres, y compris les sables de Kyson..........	7	Tous Anglais.
	Argile Plastique et Lignite......	9	7 Français. 2 Anglais.
	Sables de Bracheux.............	1	Français.
	Sables de Thanet, et Landénien Inférieur de Belgique.........	0	
SECONDAIRE.	Craie de Maëstricht............	0	
	Craie Blanche.................	0	
	Craie Marneuse................	0	
	Grès Vert Supérieur............	0	
	Gault........................	0	
	Grès Vert Inférieur............	0	
	Weald-Clay, etc...............	0	
	Sables de Hastings.............	0	
	Oolithe Supérieure de Purbeck..	0	
	Oolithe Moyenne de Purbeck....	14	Anglais (Swanage).
	Oolithe Inférieure de Purbeck....	0	
	Oolithe de Portland...........	0	
	Argile de Kimmeridge....	0	
	Coral-Rag....................	0	
	Argile d'Oxford................	0	
	Grande Oolithe......	4	Anglais (Stonesfield).
	Oolithe Inférieure.............	0	
	Lias................	0	
	Trias Supérieur................	4	Wurtemberg. Somersethire. N.-Caroline.
	— Moyen........	0	
	— Inférieur............	0	
PRIMAIRE.	Permien......................	0	
	Carbonifère....................	0	
	Silurien..................... ..	0	
	Cambrien......................	0	

J'ai dressé ce tableau avec l'aide de M. le Professeur Owen pour les mammifères fossiles d'Angleterre, et de MM. Lartet et Hébert pour ceux des

(1) Plusieurs Zeuglodons trouvés dans l'Alabama, et que des zoologistes ont rapportés à 3 espèces.

couches Éocènes de France. Il existe, en outre, plusieurs espèces non décrites dans les collections de ces deux derniers paléontologistes, ou dans des musées à leur connaissance ; et quant à une ou deux localités Éocènes sur le continent, placées en dehors du bassin de Paris, l'âge des dépôts était trop peu connu pour nous permettre d'intercaler ici leurs fossiles.

Les sables de Bracheux classés dans la division tertiaire du tableau, supposés par M. Prestwich un peu plus nouveaux que les sables de Thanet, et à peu près de la même époque par M. Hébert, ont fourni, à La Fère, l'*Arctocyon* (*Palæocyon primævus*), le plus ancien mammifère tertiaire connu.

Il est important de remarquer qu'à travers les sables de Hastings sont répandus de petits lits d'argile et de grès au sein desquels M. Beckles a découvert de nombreuses empreintes de pas de quadrupèdes, qu'il avait également remarqués dans un groupe semblable de roches, dans le Sussex et dans l'île de Wight. Ces empreintes paraissent appartenir à trois ou quatre espèces de reptiles, mais aucune d'elles ne se rapporte aux quadrupèdes à sang chaud. Le fait de leur présence doit, par conséquent, être pour nous un avertissement utile; lorsqu'il nous arrivera de ne pas découvrir d'empreintes de pas de mammifères au sein de roches plus anciennes que les précédentes (dans le Nouveau Grès Rouge, par exemple), nous ne devrons pas pour cela nous hâter de conclure que tous les quadrupèdes autres que des reptiles ont fait défaut à la création de ce temps-là ou à une création antérieure.

Mais les couches du Purbeck nous fournissent encore un autre enseignement ; toutes ces couches, à l'exception de quelques petits lits d'eau saumâtre ou salée qui les accompagnent, sont d'origine d'eau douce ; leur puissance totale est de 48 mètres ; elles ont été fouillées par d'habiles collectionneurs, par feu Édouard Forbes en particulier, et étudiées pendant plusieurs mois consécutifs ; on les a comptées, et le contenu de chacune d'elles a été soigneusement noté par les officiers du *Geological Survey* de la Grande-Bretagne. Forbes a divisé ces couches en trois groupes distincts, tous trois caractérisés par le même genre de mollusques pulmonés

et de Cypris, mais représentés dans chaque groupe par des espèces différentes ; elles recèlent des insectes de divers ordres et des fruits de plusieurs plantes ; enfin, elles contiennent des *lits de boue*, ou anciennes surfaces de terre et de sol, à différents niveaux, dans la plupart desquelles on remarque des troncs et souches en position verticale, des cycadées et des conifères avec leurs racines encore en place. Cependant, lorsque le géologue interroge cette merveilleuse série, et se demande si jamais à aucune de ces trois périodes ne vécurent des animaux terrestres d'un rang plus élevé en organisation que les reptiles, les roches sont silencieuses ! Sur un point seulement, un simple petit lit de quelques centimètres d'épaisseur répond à la question, et la page unique qu'il nous fournit sur l'histoire de la terre suffit néanmoins pour révéler tout d'un coup le souvenir d'espèces de mammifères fossiles en nombre tel, qu'il dépasse déjà celui d'une sous-division de la série Tertiaire, et de beaucoup celui de toutes les autres roches secondaires prises ensemble !

Les mammifères de l'Oolithe Inférieure de Stonesfield, dont nous parlerons page 628, ont immédiatement précédé ceux du Purbeck. Ces mammifères à très-petites dimensions comprennent quatre espèces, dont trois appartiennent certainement à la classe des marsupiaux, et l'autre peut-être à celle des placentaires, mais celle-ci diffère tellement de tout type vivant, qu'on se demande si elle ne doit pas être rangée parmi les marsupiaux. Des quadrupèdes fossiles plus anciens que les précédents, également de petite taille, ont été découverts dans le Trias supérieur de Stuttgard, en Allemagne, et plus récemment par MM. Charles Moore et W. Boyd Dawkins, dans des lits d'âge correspondant, dans le Somersetshire ; ils occupent également un degré très-bas dans l'échelle animale, analogue à celui du Myrmecobius vivant d'Australie.

En admettant que les formations des trois localités de Purbeck, Stonesfiel et Stuttgard, dans lesquelles on a décou-

vert les plus anciens mammifères, soient toutes du même âge, on peut bien supposer qu'une surface aussi limitée a été exclusivement peuplée de quadrupèdes à poches, comme de nos jours en Australie, tandis que les autres parties du globe auraient été habitées par des placentaires. Aujourd'hui, en effet, l'Australie compte cent soixante espèces vivantes de marsupiaux, lorsque les continents et les îles que forment les autres parties de la terre sont occupés par dix-sept cents espèces de mammifères, dont quarante-six seulement appartiennent aux marsupiaux, comme, par exemple, les Opossums de l'Amérique du nord et du sud. Mais la grande différence d'âge qui apparaît dans les couches de chacune de ces trois localités semble indiquer, pendant un certain laps de temps (depuis la période du Trias Supérieur jusqu'à celle des lits du Purbeck), la prédominance de quadrupèdes d'un degré inférieur. D'autre part, cette persistance de genres semblables et de types ordinaux, en Europe, alors que les espèces étaient changeantes, que les poissons, les reptiles et les mollusques subissaient des modifications considérables, nous conduirait naturellement à supposer que les mêmes formes de marsupiaux auraient existé sur de très-grandes étendues de pays, pendant cette période de l'époque secondaire qui a été désignée sous le nom d'*âge des reptiles*. Cette opinion, relative à une vaste distribution géographique des marsupiaux, dans les temps anciens, a été confirmée par la découverte qui a été faite, dans le Trias de l'Amérique du Nord, de trois mâchoires inférieures d'un quadrupède allié au Myrmecobius. Ce fossile a été trouvé par feu le Docteur Emmons dans des couches probablement contemporaines du *Keuper* de l'Europe. La prédominance, dans les temps primitifs, de ces mammifères d'ordre inférieur, et l'absence, pour le moment, d'espèces d'une organisation plus élevée, militent certainement en faveur de la doctrine du développement progressif.

Au-dessous des couches d'eau douce caractérisées par la marne à mammifères, se présente une bande mince de schistes verdâtres, avec coquilles marines, et impressions de

feuilles, ressemblant à celles d'un grand *Zostera*. Cette bande forme la base du Purbeck moyen.

Purbeck Inférieur. — Au-dessous de cette mince bande de formation marine, on trouve des marnes d'eau douce qui renferment des espèces de *Cypris* (fig. 375 *a*, *b*), des *Valvata* et des *Limnæa*, différentes de celles du Purbeck Moyen. Là, commence la division inférieure qui mesure 28 mètres d'épaisseur. Après ces marnes, à la baie de Meup, on voit des lits d'eau saumâtre, épais de plus de 9 mètres, et qui abondent en une espèce de *Serpula* alliée, sinon identique, à la *Serpula coacervites* des lits du même âge dans le Hanovre. On rencontre également dans ces couches marines, avec des Cypris, des coquilles du genre *Rissoa* (sous-genre *Hydrobia*) et un petit *Cardium* (sous-genre *Protocardium*). A l'extrémité ouest de l'île de Purbeck, quelques-uns des schistes à Cypris sont fortement contournés et brisés. Le grand lit de boue (*dirt-bed*) qu'il me reste à décrire, ancien sol végétal où gisent des racines et des débris de Cycadées,

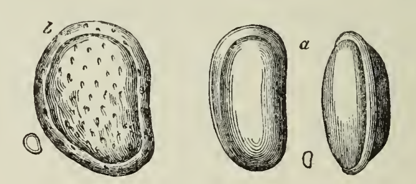


FIG. 375. — Cypris du Purbeck Inférieur. — *a. Cypris Purbeckensis*, E. Forbes. *b. Cypris punctata*, E. Forbes.

est au-dessous de ces marnes, et repose sur un calcaire d'eau douce inférieur ; ce calcaire, qui a 2 mètres environ d'épaisseur, renferme des *Cyclas*, *Valvata* et *Limnæa* des mêmes espèces que celles de la partie supérieure du Purbeck Inférieur qui recouvre le lit de boue. A son tour, le calcaire d'eau douce surmonte les lits supérieurs du Portland Stone, lequel, malgré la nature exclusivement marine de ses fossiles, possède souvent des caractères minéralogiques tout à fait

semblables à ceux du calcaire du Purbeck Inférieur (1).

De toutes les séries de couches précédentes, la plus remarquable est celle que les carriers appellent *la boue* (*the dirt*) ou *boue noire* (*black dirt*) ; évidemment, elle a été jadis un sol végétal. Son épaisseur est de 30 à 40 centimètres ; sa couleur est d'un brun noirâtre, ou plutôt noire, elle contient une forte proportion de lignite terreux. A travers la masse sont disséminés des fragments de pierre arrondis, de 75 à 225 millimètres de diamètre, et en assez grand nombre pour constituer une espèce de gravier. Dans la couche, on trouve enfouis des troncs silicifiés de conifères et des débris de plantes alliées aux *Zamia* et aux *Cycas* (fig. 376, espèce fossile, et fig. 377, *Zamia* vivant).

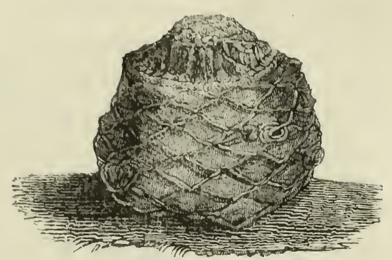


FIG. 376. — *Cycadeoidea* (*Mantellia*) *megalophylla*, Buckland.

Ces plantes ont dû être fossilisées sur l'emplacement même où elles ont vegété : les troncs d'arbres sont en position verticale ; leur longueur varie de 30 à 90 centimètres.



FIG. 377. — *Zamia spiralis*. Australie méridionale.

Un d'entre eux mesurait plus de 2 mètres. Les racines sont fixées au sol et aussi espacées les unes des autres que celles

(1) Weston, *Geol. Quart. Journ.*, vol. VIII, p. 117.

des arbres de nos forêts(1). La matière charbonneuse abonde immédiatement autour des troncs (2) et les restes sont enveloppés de *Cycadées* fossiles.

Outre ces troncs en position verticale, le lit de boue contient des branches d'arbres silicifiés, en partie enfoncées dans la terre noire, et en partie enveloppées d'un schiste calcaire qui recouvre le lit de boue. Ces tronçons couchés ont rarement plus de 90 centimètres à 1 mètre 20 centimètres de longueur; mais, en réunissant plusieurs d'entre eux, on a pu restaurer quelques individus qui ont présenté, de la racine aux branches, une longueur de 7 mètres environ, à tige ne se ramifiant pas avant une hauteur de 5 à 6 mètres. Le diamètre de ces tiges était, près des racines, de 30 centimètres. M. Henslow a observé des cavités présentant la forme de racines et descendant du fond du lit de boue dans la pierre d'eau douce qui s'y trouve au-dessous; cette pierre, devenue solide aujourd'hui, pouvait être molle et facile à pénétrer à l'époque où les arbres croissaient (3).

Les lits minces de schiste calcaire (fig. 378) indiquent évi-

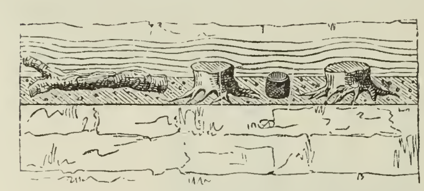


Fig. 378. — Coupe dans l'île de Portland, Porset. (Buckland et de la Bèche.)

demment un dépôt tranquille, et ils eussent été horizontaux sans les saillies produites par les troncs d'arbres, au sommet desquels ils forment des concrétions hémisphériques.

Le lit de boue n'est point limité à l'île de Portland ; on le retrouve dans la même position relative le long des falaises

(1) M. Webster a le premier signalé la position verticale des arbres, et décrit la couche de boue.

(2) Fitton, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. IV, p. 220, 221.

(3) Buckland et de la Bèche, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. IV, p. 16. M. Forbes affirme que la roche sous-jacente est un calcaire d'eau douce, et non une portion de l'Oolithe de Portland, comme on l'avait d'abord supposé.

est de Lulworth-Cove, Dorsetshire; les couches ont été dérangées au point de subir une inclinaison de 45 degrés, et

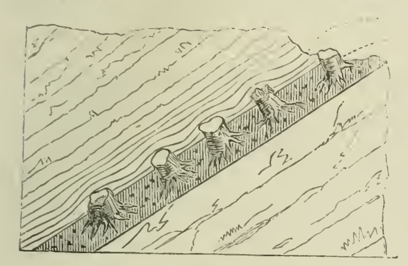


FIG. 379. — Coupe d'un rocher à l'est de Lulworth-Cove. (Buckland et de la Bèche.)

les troncs d'arbres se trouvent inclinés sous le même angle dans une direction transversale : c'est un bel exemple d'un changement de position de couches primitivement horizontales (fig. 379). Des traces d'un lit de boue ont été observées par M. Fisher, à Ridgway; le Docteur Buckland a découvert un semblable dépôt à 3 kilomètres nord de la Tamise, dans l'Oxfordshire, et le Docteur Fitton, dans les roches du Boulonnais, sur la côte de France; mais, comme on devait s'y attendre, ce dépôt d'eau douce présente une étendue limitée, comparativement à la plupart des formations marines.

Des faits qui précèdent on peut déduire d'abord que les lits de l'Oolithe Supérieure, appelés le *Portland*, et qui sont remplis de coquilles marines, furent dans le principe recouverts de boue fluviatile; que cette boue, plus tard mise à sec, se couvrit de forêts dans toute l'étendue de l'espace qui constitue aujourd'hui le sud de l'Angleterre, et cela, à une époque où le climat permettait le développement des *Zamia* et des *Cycas;* qu'ensuite le sol vint à baisser et fut submergé avec ses forêts par une masse d'eau douce où se déposa un sédiment avec coquilles fluviatiles. Enfin, la conservation régulière et uniforme de cette couche mince de terre noire, sur une étendue de plusieurs kilomètres, montre que la conversion du sol émergé en lac d'eau douce ou en estuaire ne fut accompagnée d'aucune dénudation violente ni d'au-

cune irruption des eaux, car la terre noire meuble, ainsi que les arbres qui gisent à sa surface, eussent été inévitablement entraînés, s'il fût survenu quelque catastrophe violente.

Nous venons de décrire le lit de boue dans sa manière d'être la plus simple; mais, sur certains points, il présente une disposition beaucoup plus compliquée. La forêt n'a pas été partout la première végétation développée dans cette région; on a découvert au-dessous du lit de boue deux autres lits d'argile charbonneuse, dont l'un renfermait des *Cycadées* en position verticale; un autre lit se rencontre au-dessus, et ces diverses circonstances indiquent de nombreuses oscillations dans le niveau de ce terrain plusieurs fois occupé, puis abandonné par les eaux.

Tableau indiquant les changements des milieux dans lesquels les couches à partir des plus inférieures, ont été formées, dans le sud-est de l'Angleterre depuis le Portland Stone jusqu'au Grès Vert Inférieur inclusivement.

1. Marin	Portland Stone.
2. D'eau douce	
Terrestre	
D'eau douce	
Terrestre	
D'eau douce	
Terrestre (Lit de boue)	Purbeck Inférieur.
D'eau douce	
Terrestre	
D'eau saumâtre	
D'eau douce	
3. Marin	
D'eau douce	
Marin	
D'eau saumâtre	Purbeck Moyen.
Marin	
D'eau saumâtre	
D'eau douce	
4. D'eau douce	Purbeck Supérieur.
5. D'eau douce	
D'eau saumâtre	Sables de Hastings.
D'eau douce	
6. D'eau douce	Argile Wealdienne.
7. Marin	Grès Vert Inférieur.

Ce tableau permet de saisir d'un coup d'œil les changements qui ont eu lieu successivement dans cette partie de l'Angleterre, entre les périodes Oolithique et Crétacée : une rivière a succédé à une mer, ou une mer à une rivière, ou à celle-ci une terre, et ainsi de suite. Les observations récentes de M. Forbes ont constaté au moins quatre changements d'espèces testacées pendant le dépôt des lits du Weald et du Purbeck. Il ne faudrait donc pas s'étonner si,

par la suite, on venait encore à découvrir les traces de plusieurs autres occupations du même terrain par des éléments nouveaux. Même durant une petite portion de telle période zoologique qui n'aura pas été assez longue pour que certaines espèces aient pu disparaître, on remarquera que le même sol aura été alternativement à sec, puis submergé et mis à sec de nouveau, comme cela s'observe dans les deltas du Pô et du Gange, dont le forage des puits artésiens nous fait connaître l'histoire et le mode de formation (1). De semblables révolutions se sont accomplies en 1819 dans le delta de l'Indus, à Cutch (2), où la terre s'est trouvée, pendant un certain temps, recouverte par des eaux de rivière et de mer sans que le sol ni les arbustes en aient été enlevés. Indépendamment des mouvements verticaux de la terre, nous remarquons dans les deltas principaux, comme celui du Mississipi, que la mer s'étend chaque année pendant des mois entiers sur des surfaces considérables qui, dans d'autres saisons, à l'époque des inondations, sont envahies par les eaux de rivière.

Il est bon d'observer que la division du *Purbeck* en parties Supérieure, Moyenne et Inférieure a été établie par M Forbes d'après le principe rigoureux de la destruction des espèces organiques qu'elles renferment. Les lignes de démarcation ne sont point des lignes de dislocation ; elles ne sont non plus indiquées par aucun caractère physique frappant ni par des changements minéralogiques. Les traits qui particularisent le Purbeck, tels que les lits de boue, les couches disloquées de Lulworth et le Lit de cendres n'impliquent positivement aucune perturbation dans la répartition des êtres organisés. On doit chercher, dit ce naturaliste, les causes qui ont par trois fois opéré un changement complet de la vie pendant le dépôt des couches d'eau douce et d'eau saumâtre, non-seulement dans les transformations rapides ou instantanées du sol alternativement submergé et

(1) Voyez *Principes de Géologie*, 9e édition, p. 255, 277.
(2) *Ibid.*, p. 460.

exondé, mais encore dans le laps de temps considérable qui s'est écoulé entre les époques de dépôt. »

Chaque lit de boue peut rappeler sans doute bien des milliers d'années, car c'est à peine si les plus vieilles forêts des tropiques laissent sur le sol qui les a portées quelques centimètres de terre végétale comme monument de leur existence. Toutefois, même en admettant que les sols fossiles du Purbeck Inférieur représentent une série de siècles aussi considérable, il ne faut pas s'attendre à les voir constituer, entre les couches successives, des lignes de séparation caractérisées par différents types zoologiques. La conservation d'un lambeau de sol végétal, pendant que la submersion se produit, doit être considérée comme une rare exception à la règle générale. Une couche de nature aussi peu consistante ne saurait guère manquer d'être enlevée par les vagues, les courants marins ou même les eaux des rivières. Indépendamment des lits de boue qui subsistent encore dans le Purbeck, il en a probablement existé bien d'autres qui ont successivement disparu.

Les plantes trouvées jusqu'à présent dans les couches de Purbeck sont principalement des Fougères, Conifères (fig. 380) et Cycadées (fig. 376). Il ne s'y rencontre pas de Dicotylédones angiospermes; c'est une végétation plutôt Oolithique que Crétacée. Les animaux vertébrés ou invertébrés, de même que les plantes, y montrent plus d'affinité avec la période de l'Oolithe qu'avec celle de la Craie. M. Brodie a découvert dans le dépôt des restes d'insectes Homoptères et Trihoptères; quelques-uns de ces insectes vivent aujourd'hui sur les plantes; d'autres voltigent à la surface de nos rivières.



FIG. 380. — Cône de pin, de l'île de Purbeck (Fitton).

Calcaire et Sable de Portland (*b*, Tabl., p. 586). — Nous avons déjà dit que l'Oolithe de Portland formait, dans le Dorsetshire, la base du calcaire d'eau douce du Purbeck In-

férieur ; c'est cette division qui a fourni les pierres pour la construction de Saint-Paul et des principaux édifices de Londres. Elle repose sur une couche épaisse de sable nommé *Sable de Portland*, qui renferme des fossiles marins à peu près semblables et surmonte l'argile de Kimmeridge. Ces formations Oolithiques Supérieures ne se rencontrent en An-

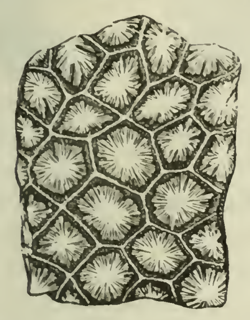


FIG. 381. — *Isastræa oblonga*, M. Edw. et J. Haime. Plaque polie de chert du sable de Portland, Tisbury.

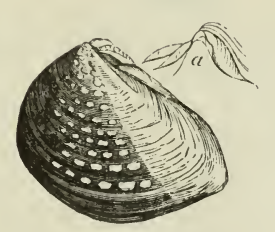


FIG. 382. — *Trigonia gibbosa*, demi-grandeur naturelle. — *a*. La charnière. Portland Stone, Tisbury.

gleterre que dans les contrées du Sud. Les coraux y sont rares, bien qu'une espèce abonde à Tisbury, Wiltshire, dans le sable de Portland ; il y a substitution du chert et du silex à la matière calcaire primitive.

Argile de Kimmeridge. — Elle est en grande partie



FIG. 383. — *Cardium dissimile*, quart de grandeur naturelle. Portland Stone.

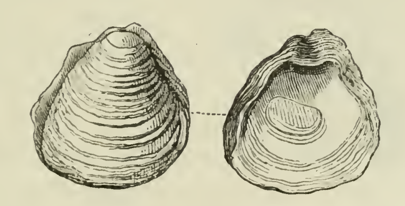


FIG. 384. — *Ostrea expansa*. Portland.

composée de schistes bitumineux qui fournissent parfois une houille impure ; son épaisseur monte à plusieurs centaines de mètres. En certains endroits du Wiltshire elle ressemble à la tourbe ; la matière bitumineuse doit alors provenir en

partie de la décomposition de végétaux; mais, comme les empreintes de plantes sont rares dans ces schistes, qui contien-

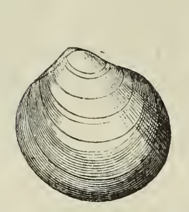


Fig. 385. — *Cardium striatulum.* Argile de Kimmeridge, Hartwell.



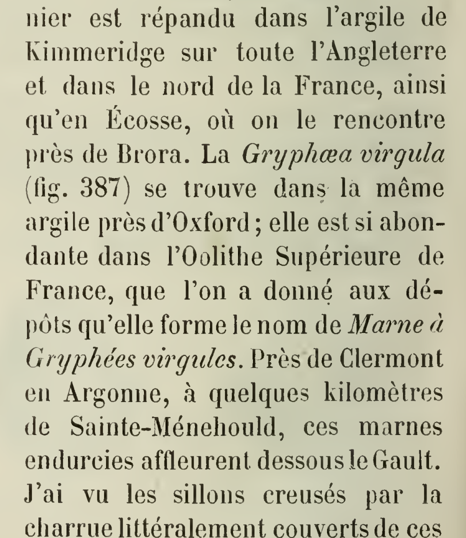
Fig. 386. — *Ostrea deltoidea.* Quart de grandeur naturelle. Argile de Kimmeridge.



Fig. 387. — *Gryphæa (Exogyra) virgula.* Argile de Kimmeridge.

nent, au contraire, des ammonites, des huîtres et autres coquilles marines, le bitume peut bien avoir une origine animale.

Parmi les fossiles caractéristiques sont le *Cardium striatulum* (fig. 385), et l'*Ostrea deltoidea* (fig. 386); ce dernier est répandu dans l'argile de Kimmeridge sur toute l'Angleterre et dans le nord de la France, ainsi qu'en Écosse, où on le rencontre près de Brora. La *Gryphæa virgula* (fig. 387) se trouve dans la même argile près d'Oxford; elle est si abondante dans l'Oolithe Supérieure de France, que l'on a donné aux dépôts qu'elle forme le nom de *Marne à Gryphées virgules*. Près de Clermont en Argonne, à quelques kilomètres de Sainte-Ménehould, ces marnes endurcies affleurent dessous le Gault. J'ai vu les sillons creusés par la charrue littéralement couverts de ces huîtres fossiles. Le *Trigonellites latus* (*Aptychus* de quelques auteurs) (fig. 388) existe aussi dans cette argile en très-grande abondance. La véritable nature de cette coquille, dont on compte plusieurs espèces dans les roches oolithiques, n'est pas encore bien connue.



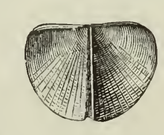


Fig. 388. — *Trigonellites latus.* Argile de Kimmeridge.

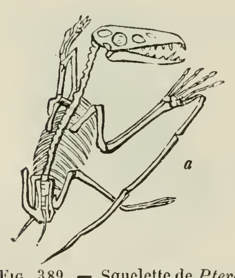


Fig. 389. — Squelette de *Pterodactylus crassirostris.* Oolithe de Pappenheim, près Solenhofen.

Quelques géologues pensent que les deux valves constituaient le gésier d'un céphalopode, parce que, chez le Nautile vivant, on observe un gésier à plis cornés ; on sait également que celui de la *Bulla* est formé de deux plaques calcaires.

La célèbre pierre lithographique de Solenhofen, en Bavière, appartient à l'une des divisions supérieures de l'Oolithe, et fournit un remarquable exemple de la variété des fossiles qui peuvent se conserver dans des circonstances favorables. On ne saurait imaginer avec quelle délicatesse sont rendues les parties les plus tendres et les plus fragiles des animaux et des plantes, quand le sédiment qui les contient est d'une grande finesse. Quoique le nombre des testacés et des plantes soit peu considérable dans ce schiste aux fossiles entièrement marins, M. Münster avait déjà déterminé 237 espèces lorsque je vis sa collection en 1833 : j'y remarquai 7 espèces de Ptérodactyle ou lézard volant (fig. 389), 6 sauriens, 3 tortues, 60 espèces de poissons, 46 de crustacés et 26 d'insectes. Ces derniers, parmi lesquels est une libellule, doivent avoir été emportés à la mer par le vent et provenaient du même sol que les lézards volants et autres reptiles contemporains cités plus haut.

Le même schiste de Solenhofen a fourni le magnifique exemple d'un squelette d'oiseau presque entier, à l'exception de la tête ; il avait même conservé ses plumes. Ce remarquable échantillon fait aujourd'hui partie du Bristish Museum, et a été dénommé par le Professeur Owen, *Archæopteryx macrura*. Ce savant a conclu, après examen, que cet individu était un véritable oiseau, et non un animal intermédiaire entre l'oiseau et le reptile. Sa taille égale à peu près celle du freux, et il diffère notablement de tous les oiseaux connus par deux griffes libres faisant partie des ailes, et par la structure de sa queue. Dans tous les représentants vivants de la classe des oiseaux, les plumes de la queue sont attachées à un os coccygien, formé de plusieurs vertèbres unies entre elles, tandis que dans l'Archæopteryx la queue se compose de vingt vertèbres, qui supportent chacune une paire de

plumes à tuyau, si complètes que les barbes et les tubes sont dans un état parfait de conservation. Les cinq premières vertèbres seulement ont des apophyses transversales, les quinze autres, graduellement plus longues, vont ensuite en se raccourcissant. Les plumes divergent extérieurement de ces vertèbres avec un angle de 45°, mais cet écart du vrai type des oiseaux se fait remarquer, dit le Professeur Owen, dans cette partie du squelette qui est la plus sujette à varier.

Il y a donc des espèces à longue et courte queue de chauve-souris, de rongeurs et de ptérodactyles, chez lesquelles le nombre des vertèbres caudales varie sensiblement ; bien que chez les oiseaux vivants, fait observer M. Owen, un os court de la queue, généralement accompagné de la coalescence des vertèbres terminales pour former l'os en soc de charrue / E, soit un caractère que l'on remarque constamment, il n'en est pas moins vrai que tous les oiseaux présentent à l'état embryonnaire des vertèbres distinctes et séparées, de sorte que la queue de l'Archæopteryx, ayant une structure « embryonnaire et transitoire identique avec celle des représentants modernes de la classe des oiseaux, indique une affinité intime de ce fossile avec le type général des vertébrés. » On compte de huit à vingt vertèbres caudales dans l'autruche jeune, et sur ce nombre sept ou huit sont annexées au sacrum, tandis que deux ou trois sont soudées ensemble pour former le prolongement de l'os terminal, qui, dans cet oiseau et dans d'autres cursoripèdes (*cursores*), n'a pas la forme de soc de charrue.

On a déjà constaté qu'aucun fossile britannique appartenant soit aux espèces des vertébrés, soit à celle des invertébrés, n'était commun à l'Oolithe et à la Craie, ou, pour parler plus exactement, aux couches marines de ces deux groupes les plus rapprochés, que l'on connaît sous le nom de calcaire de Portland et de lit d'Atherfield. Mais ce grand hiatus que l'on observe dans la série des formations quand on les étudie dans l'ordre ascendant, ne se présente pas lorsqu'on procède dans l'ordre descendant et que l'on passe successi-

vement d'un membre à un autre, du groupe Jurassique, des Oolithes supérieure, moyenne, inférieure et du Lias. Ainsi, par exemple, je trouve, en consultant le tableau des

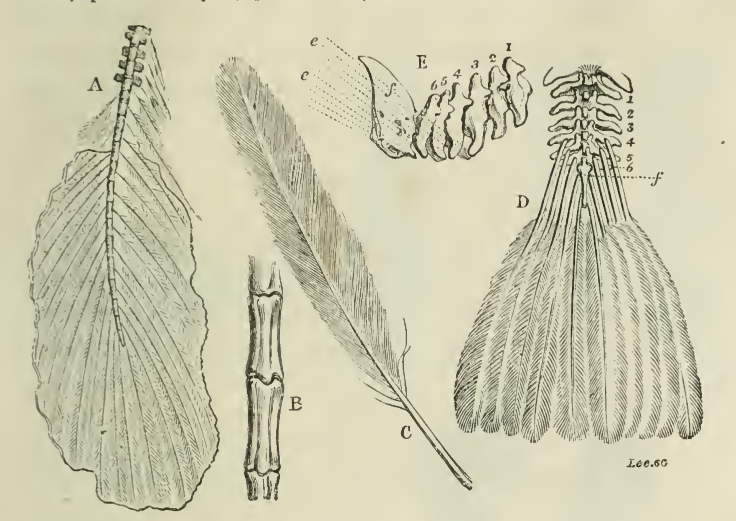


FIG. 390. — Queue de l'*Archæopteryx macrura*, Owen, et plume de *A. lithographica*, Meyer, provenant du schiste de Solenhofen. Queue d'un oiseau vivant pour comparaison.

A. Série des vertèbres caudales (avec empreintes des plumes de la queue conservées en place de l'*Archæopteryx macrura*, Owen. Un cinquième de grandeur naturelle. Dessiné d'après le spécimen du British Museum (vue de l'abdomen). — B. Deux des vertèbres caudales, grandeur naturelle, montrant leur forme et l'absence d'apophyses transversales. — C. Plume unique, appelée *Archæopteryx lithographica*, par Von Meyer. Grandeur naturelle. Cette plume, qui a servi à établir le genre en 1861, fut découverte à Solenhofen. Voir *Jahrbuch für Mineralogie*, 1861, p. 561. — D. Queue du vautour récent (*Gyps Bengalensis*), montrant les points d'attache des principales plumes caudales (vue de dos, un quart de grandeur naturelle). — E. Profil des vertèbres caudales du même, pour montrer la largeur de l'articulation terminale, ou os, *en soc de charrue*, de la queue. Cet os est le même que celui qui est représenté en raccourci en *f* D, et qui est si largement développé dans presque tous les oiseaux vivants. Un tiers de grandeur naturelle.

N. B. Les figures 1 à 6 indiquent la correspondance qui existe entre les vertèbres dans les deux vues D et E.

f E et *f* D montrent la position de l'articulation terminale.

Les lignes ponctuées E, *e*, *c* montrent la direction des plumes à tuyau de la queue, vue de profil.

L'os en soc de charrue peut se relever à la volonté de l'oiseau (voir *f* E), pour atteindre son bec allongé, lorsque l'animal veut prendre la matière huileuse de la glande coccygienne (placée sous cette articulation terminale) pour lubrifier ses plumes à l'époque où il les fait. Les plumes principales de la queue sont seules représentées dans la figure D ; la base de ces plumes et le reste des vertèbres sont cachés par les plumes secondaires et le duvet.

fossiles britanniques dressé par M. Etheridge (1), que, sur soixante espèces de toutes les classes qui vivaient dans la période de l'argile de Kimmeridge, vingt, ou trente-trois pour cent, passent plus bas dans le Coral Rag; ou bien, en considérant exclusivement les mollusques, que sur trente-trois espèces appartenant au dépôt de Kimmeridge-Clay, huit, ou vingt-quatre pour cent, sont communes au Coral Rag.

OOLITHE MOYENNE.

Coral Rag. — On a donné le nom de *Coral Rag* à l'un des calcaires de l'Oolithe Moyenne qui se compose spécialement d'une suite de lits de coraux pétrifiés conservant encore, pour la plupart, la position qu'ils avaient dans la



Fig. 391. — *Thecosmilia annularis*, Milne-Edw. et J. Haime. Coral Rag. Steeple Ashton.

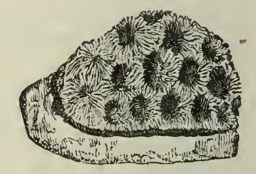


Fig. 392. — *Thamnastræa*. Coral Rag. Steeple Ashton.

mer à l'époque où ils se développaient. Ces coraux ont, par leurs formes, plus d'analogie avec les polypiers des récifs de l'océan Pacifique que ceux d'aucun autre membre de l'Oolithe. Ils appartiennent généralement aux genres *Thecosmilia* (fig. 391), *Protoseris* et *Thamnastræa ;* quelquefois ils fournissent des masses de 5 mètres d'épaisseur. Dans la figure 392, qui reproduit une *Thamnastræa* de cette formation, on remarque que les cavités en forme de coupe

(1) Ce tableau fait partie d'un ouvrage de M. Etheridge, en voie de publication et qui a pour titre, *Stratigraphical arrangement of British fossils.*

sont plus profondes sur le côté droit et le deviennent de moins en moins à mesure que l'on avance vers le côté gauche, où elles sont presque nulles. De ce côté, le déve-



FIG. 393. — *Ostrea gregarea,* Coral Rag. Steeple Ashton.

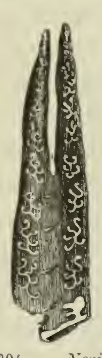


FIG. 394. — *Nerinea hieroglyphica.* Coral Rag.

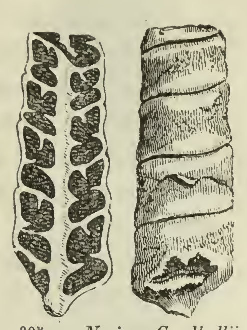


FIG. 395. — *Nerinea Goodhallii,* Fitton. Coral Rag, Weymouth demi-grandeur naturelle.

loppement paraît achevé, tandis que, de l'autre, il est encore incomplet. Ces couches de coraux s'étendent à travers les collines calcaires du N.-O. du Berkshire et



FIG. 396. — Moule de *Diceras arietina.* Coral Rag, France.

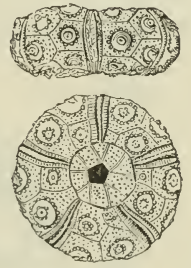


FIG. 397. — *Cidaris coronata.* Coral Rag.

au N. de Wilts, pour se montrer de nouveau dans le Yorkshire près de Scarborough. L'*Ostrea gregarea* (fig. 393) caractérise parfaitement cette formation en Angleterre et sur le continent.

Un des calcaires du Jura, contemporain du Coral Rag d'Angleterre, a été nommé par M. Thirria *Calcaire à Nérinées*. Les *Nérinées* constituent un genre éteint de coquilles univalves ressemblant beaucoup extérieurement au

Cerithium. La coupe (fig. 395) montre la forme curieuse de la partie creuse de chaque tour de spire ainsi que le canal qui occupe le milieu de la columelle. La *N. Goodhallii* (fig. 395) est une autre espèce anglaise du même genre; elle provient d'une formation qui paraît servir de passage entre l'argile de Kimmeridge et le Coral Rag (1).

Une division de l'Oolithe des Alpes, que plusieurs géologues ont considérée comme contemporaine du Coral Rag d'Angleterre, a été souvent désignée sous le nom de *Calcaire à Dicérates*, parce qu'elle contient une grande quantité de coquilles bivalves (voy. fig. 396) d'un genre allié aux *Chama*.

Argile d'Oxford. — Au-dessous du Coral Rag, et des sables appelés *grits calcaires*, de l'Oolithe Moyenne qui l'accompagne, on rencontre une couche épaisse d'argile nommée *Argile d'Oxford*, et qui atteint parfois 150 mètres



FIG. 398. — *Belemnites hastatus*. Argile d'Oxford.

d'épaisseur. Elle présente, au lieu de coraux, une grande quantité de céphalopodes des genres Ammonite et Bélem-

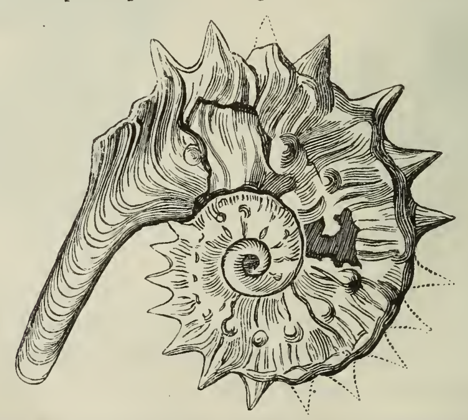


FIG. 399. — *Ammonites* (*Jason*, Reinecke, Syn., *A. Elisabethæ*, Pratt). Argile d'Oxford, Christian Malford, Wiltshire.

nite (fig. 398, 399). Quand l'argile est très-fine, les Am-

(1) Fitton, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. IV, pl. 23, fig. 12.

monites sont d'une conservation parfaite, quoique légèrement comprimées ; de chaque côté de leur bouche part une sorte de prolongement en forme de corne (fig. 399). On en a découvert en 1841 dans les tranchées du chemin de fer du Great Western, près de Chippenham. M. Pratt en a fait la description (*Ann. Nat. Hist.*, novembre 1841).

Mantell a observé de semblables prolongements dans des coquilles de Bélemnite de la même argile (fig. 400); il a pu jeter ainsi, par ce spécimen et par beaucoup d'autres, une grande lumière sur la structure de ces singuliers céphalopodes éteints (1).



Fig. 400. — *Belemnites Puzosianus, B. Owenii,* Pierce. Argile d'Oxford, Christian Malford.
a, *a*. Prolongement de la coquille, ou phragmocone. — *b*, *c*. Portion extérieure, brisée, d'une coquille conique appelée le Phragmocone, laquelle est cloisonnée à l'intérieur, c'est-à-dire composée de cellules basses, concaves, percées d'un siphon. — *c*, *d*. Garde ou osselet, communément nommée Bélemnite.

Roche de Kelloway. — Le calcaire arénacé connu sous ce nom est généralement considéré comme un membre de l'argile d'Oxford, dans laquelle il forme, au sud-ouest de l'Angleterre, des masses lenticulaires, d'une épaisseur de 2 à 3 mètres, qui contiennent à Kelloway, dans le Wiltshire, de nombreux moules d'ammonites et d'autres coquilles. Dans le Yorkshire, cette formation calcaire arénacée atteint une épaisseur d'environ 9 mètres, et constitue la partie inférieure de l'Oolithe moyenne ; elle part de Scarborough dans l'intérieur du pays et suit une direction méridionale. Les

(1) *Philos. Trans.*, 1850, p. 393, voir Huxley, *Memoirs of Geol. Survey*, 1864.

mollusques qu'elle renferme sont au nombre de 106, suivant M. Étheridge ; sur lesquels 23 seulement ou 22 1/2 p. 100 sont communs à l'Argile d'Oxford proprement dite. Sur les 20 Céphalopodes, 8 (savoir, un individu de la famille Sepia, 6 espèces d'ammonite, et l'Ancyloceras Calloviense) sont communs à l'Argile d'Oxford, dans une proportion de 40 p. 100.

D'autre part, si l'on compare les fossiles de tous les genres, qui atteignent le nombre de 151 espèces dans la roche de Kelloway, avec les fossiles de l'oolithe inférieure sous-jacente, on trouve que 74, ou environ 49 p. 100, passent plus bas dans les roches plus anciennes. Si l'on porte exclusivement son attention sur les mollusques de Kelloway considéré comme la base de l'Oolithe moyenne, et si on compare ces mollusques avec ceux du Cornbrash, ou membre supérieur de l'oolithe inférieure, on trouve 106 espèces particulières au Kelloway, 123 au Cornbrash, et 22 communes aux deux roches ; cette distribution implique une communauté de 12 p. 100 dans les fossiles des deux formations.

OOLITHE INFÉRIEURE.

Cornbrash et Forest Marble. — La division supérieure de cette série, beaucoup plus étendue que l'Oolithe Moyenne, est appelée en Angleterre *Cornbrash.* Elle consiste en argile et grès calcaires, et passe inférieurement au Forest Marble, sorte de calcaire argileux abondant en fossiles marins. Sur quelques points, comme à Bradford, ce calcaire est remplacé par une masse d'argile. Les grès du Forest Marble, dans le Wiltshire, sont souvent ondulés et remplis de fragments de coquilles et de tronçons de bois apportés par les eaux, ce qui indique une origine littorale. Ces plaques ondulées d'Oolithe fissile, employées pour la toiture des bâtiments, couvrent une large zone du pays qui s'étend de Bradford dans le Wilts, à Tetbury dans le Gloucestershire. Ces pierres à tuiles (tile-stones) sont séparées par de minces bandes d'argile qui ont pris leur forme et

conservent une empreinte si parfaite des saillies et des dépressions ondulatoires du sable, que l'on peut y distinguer encore la trace des pieds de petits animaux, probablement de crustacés. On y observe également des pinces de crabes, des fragments d'oursins, et d'autres vestiges qui attestent le voisinage d'une plage ancienne (1).

Grande Oolithe. — Quoique le nom de Coral Rag ait été réservé à un membre de l'Oolithe Supérieure, quelques portions de l'Oolithe Inférieure méritent également le nom de Calcaire corallin. La grande Oolithe, par exemple, près de Bath, renferme différents coraux, parmi lesquels l'espèce

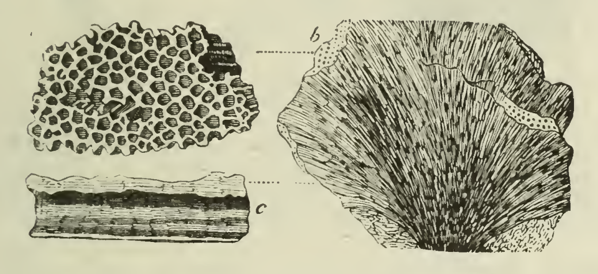


FIG. 401. — *Eunomia radiata*, Lamouroux (*Calamophyllia*, Milne-Edw.).
a. Coupe en travers des tubes. — *b*. Coupe verticale, montrant le rayonnement des tubes. — *c*. Portion d'intérieur d'un tube, grossie, montrant sa surface striée.

remarquable, *Eunomia radiata* (fig. 401), forme des masses de plusieurs mètres de circonférence ; ce développement a sans doute nécessité, comme pour les *Méandrines* actuelles des tropiques, une longue suite de siècles.

Différentes espèces de *Crinoïdes* sont aussi très-communes dans ces mêmes roches, et, comme les coraux qui les accompagnent, elles ont dû croître sur un fond solide, sans être dérangées pendant bien des années (*c*, fig. 402). Ces fossiles sont presque toujours limités aux calcaires. On observe, cependant, une exception à Bradford près de Bath, où ils sont enfouis dans l'argile. En cet endroit, la surface solide supérieure de la Grande Oolithe paraît avoir été couverte pendant un certain temps d'une épaisse forêt sous-marine, composée de ces ma-

(1) P. Scrope, *Geol. Proceed.*, mars 1831.

gnifiques zoophytes, et cet état dura jusqu'au moment où l'eau limpide et tranquille fut envahie par un courant chargé de boue qui renversa les Crinoïdes et brisa leurs tiges juste à fleur du sol. Les souches sont encore dans leur position originelle, mais les nombreuses articulations qui

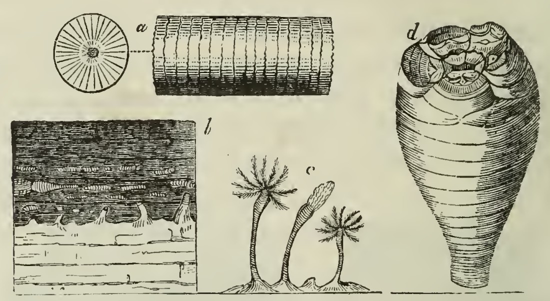


FIG. 402. — *Apiocrinites rotundus*, ou Encrinite-poire ; Miller. Fossile à Bradford, Wilts. *a.* Tige d'*Apiocrinites*, et l'une de ses articulations ; grandeur naturelle. — *b.* Coupe de la Grande Oolithe, à Bradford, et argile qui la surmonte, avec encrinites fossiles. Voyez le texte. — *c.* Trois individus complets d'*Apiocrinites* représentés dans leur mode de croissance sur la surface de la Grande Oolithe. — *d.* Corps d'*Apiocrinites rotundus.*

formaient autrefois la tige, les rameaux et les corps des zoophytes, ont été disséminées au hasard dans le dépôt argileux. Cette disposition est figurée dans la coupe *b* (voy.

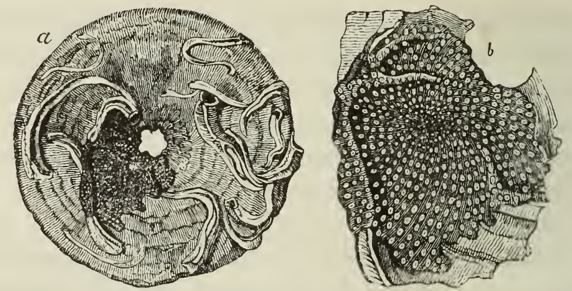


FIG. 403. *a.* Plaque détachée, ou articulation d'Encrinite, à laquelle se sont fixées des Serpules et des Bryozoaires ; grandeur naturelle. Argile de Bradford. — *b.* Portion de la même, grossie pour montrer le bryozoaire *Diastopora diluviana* qui couvre l'une des *Serpules.*

la figure 402), où les teintes plus foncées représentent l'argile de Bradford que quelques géologues classent avec le Forest Marble, et d'autres avec la Grande Oolithe. La surface

supérieure du calcaire est complétement incrustée d'une sorte de réseau continu, formé par les racines pierreuses ou attaches des Crinoïdes; mais, outre cette preuve du séjour prolongé des zoophytes sur le sol calcaire, on trouve un grand nombre d'articulations ou plaques circulaires de la tige et du corps de l'Encrinite, séparées et recouvertes de Serpules. Ces dernières n'ont pu commencer à se développer qu'après la mort de quelques crinoïdes, dont les squelettes ont été disséminés sur le lit de l'océan, avant l'irruption de la boue argileuse. Quelquefois, on observe que les Serpules parasites, après leur entier accroissement, ont été recouvertes à leur tour par un bryozoaire nommé *Diastopora diluviana*, et que plusieurs générations de ces petits mollusques se sont succédé dans l'eau pure avant de devenir fossiles.

De même que les pins et cycadées de l'ancien *lit de boue*, ou forêt fossile du Purbeck Supérieur, furent détruits par une submersion d'eau douce et bientôt ensevelis sous des sédiments boueux, de même on peut supposer qu'une invasion de la matière argileuse arrêta subitement la croissance des Encrinites de Bradford, et contribua à leur conservation dans les couches marines (1).

Les zoologistes expliqueraient ces différences entre les fossiles des dépôts calcaires et ceux des dépôts argileux par des différences correspondantes dans *les stations* des espèces; mais les variations qui existent entre les fossiles des séries Supérieure, Moyenne et Inférieure de l'Oolithe, doivent être attribuées à cette grande loi des changements dans la vie organique, suivant laquelle des ensembles distincts d'espèces ont été, pendant la succession des époques géologiques, appropriées aux conditions variées de la surface habitable du sol. Il serait difficile de décider, pour chaque district en particulier, jusqu'à quel point la limitation des espèces à de certaines formations plus restreintes peut être attribuée à

(1) Pour plus de détails sur ces Encrinites, voyez le *Bridgewater Treatise* de Buckland, vol. I, p. 429.

l'influence locale des *stations*, à la durée du temps ou à la loi de création et de destruction; mais nous admettrons ce dernier genre d'influence si nous comparons la série Oolithique entière de l'Angleterre à celle de certaines parties du Jura, des Alpes et d'autres contrées éloignées, qui n'offrent guère de ressemblance lithologique; et pourtant quelques-uns des mêmes fossiles restent particuliers, dans chacun de ces pays, aux formations de l'Oolithe Supérieure, Moyenne et Inférieure. M. Thurmann a remarqué combien le fait est vrai dans le Jura Bernois, bien que les divisions argileuses, si remarquables en Angleterre, y soient faiblement représentées, et que quelques-unes même fassent absolument défaut.

L'argile de Bradford a souvent 18 mètres d'épaisseur; elle manque dans quelques endroits; sur d'autres points où il n'y a pas de calcaire, on la sépare difficilement des argiles qui viennent au-dessus (*Forest Marble*) aussi bien que de celles qui se trouvent au-dessous (*Terre à foulon*).

La portion calcaire de la grande Oolithe consiste en diverses roches coquillières, dont l'une surtout, l'Oolithe de Bath, est célèbre comme pierre de construction. Dans quelques cantons du Gloucestershire, et particulièrement près de Minchinhampton, la Grande Oolithe, dit M. Lycett, doit s'être déposée dans une mer peu profonde où existaient de forts courants, car le caractère minéral du dépôt change souvent, et certaines couches montrent une fausse stratification. Sur d'autres points, on voit, parmi des amas de coquilles brisées, des galets étrangers aux roches du voisinage, avec fragments usés de madrépores, de bois dicotylédones, et de pinces de crabes. Les couches coquillières ont aussi parfois subi une dénudation, et l'argile a remplacé les portions détachées (1). Dans ces couches d'eau basse, on rencontre habituellement des coquilles des genres *Patella*, *Nerita*, *Rimula* et *Cylindrites* (fig. 406 à 409), tandis que les céphalopodes y sont rares, et qu'au

(1) Lycett, *Geol. Journ.*, vol. IV, p. 183.

lieu d'Ammonites et de Bélemnites, on y voit de nombreuses variétés de Trachélipodes carnivores. Sur cent quarante-

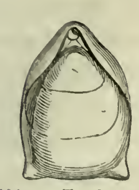


FIG. 404. — *Terebratula digona*, grandeur naturelle. Argile de Bradford.



FIG. 405. — *Purpuroïdæa nodulata;* un quart de grandeur naturelle. — Grande Oolithe, Minchinhampton.



FIG. 406. — *Cylindrites acutus*, Sow. Syn., *Actæon acutus*. — Grande Oolithe, Minchinhampton.

deux espèces d'univalves qu'il a recueillies à Minchinhampton, M. Lycett en a compté jusqu'à quarante et une qui sont

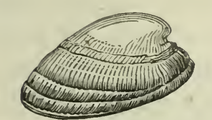


FIG. 407. — *Patella rugosa*, Sow. Grande Oolite.

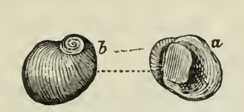


FIG. 408. — *Nerita costulata* Desh. Grande Oolithe.

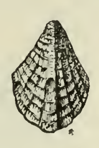


FIG. 409. — *Rimula* (*Emarginula*) *elathrata* Sow. Grande Oolithe.

carnivores. Elles appartiennent principalement aux genres *Buccinum*, *Pleurotoma*, *Rostellaria*, *Murex*, *Purpuroidea* fig. 405) et *Fusus;* c'est un ensemble de mollusques zoophages qui ne diffère pas beaucoup de celui qu'on observe dans les mers chaudes actuelles. Ces résultats zoologiques sont d'autant plus curieux et imprévus que, jusqu'à présent, on croyait à l'absence complète de trachélipodes carnivores dans des roches aussi anciennes que la Grande Oolithe. On admettait que ces mollusques n'avaient commencé à paraître en grand nombre qu'à l'époque des formations Éocènes, et après l'extinction des deux grandes familles de céphalopodes, les ammonites et bélemnites.

Schiste de Stonesfield. — M. Lonsdale a démontré que le schiste de Stonesfield appartient à la base de la Grande

Oolithe (1). C'est un calcaire coquillier légèrement oolithique, qui forme de grandes masses lenticulaires disséminées dans le sable, sur 1 mètre 80 centimètres seulement de puissance, mais riche en débris organiques. Il contient des galets roulés provenant d'une roche de même nature que la formation; peut-être ces galets sont-ils tout simplement des parties du même dépôt qui auront été brisées sur le rivage aux basses eaux ou pendant les orages, et qui se seront ensuite stratifiées de nouveau. On rencontre dans ce schiste des bélemnites, des trigonies et autres coquilles marines, ainsi que des fragments de bois et des empreintes de fougères, de cycadées et d'autres plantes. Divers débris d'insectes, des élytres de coléoptères, par exemple, y sont parfaitement conservés (fig. 410) ; quelques-uns de ces insectes sont très-voisins du genre *Buprestis* (2). On a découvert dans le même calcaire plusieurs sortes de reptiles, tels que *Plésiosaure*, *Crocodile* et *Ptérodactyle*.

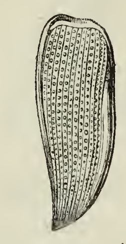


FIG. 410. — Élytre de *Buprestis?* Stonesfield.

Les fossiles les plus remarquables sont des mammifères. Le lecteur se rappellera qu'avant la découverte du *Spalacotherium* des lits du Purbeck, en 1854, on n'avait encore trouvé d'ossements de quadrupèdes terrestres ou de cétacés dans aucune des roches aussi anciennes que l'Éocène. D'un autre côté, nous avons vu que les plantes terrestres n'étaient pas rares dans la formation Crétacée Inférieure, et que dans le Weald, il existait évidemment sur une grande échelle un sédiment d'eau douce, renfermant différentes plantes et même d'anciens sols à végétaux. On rencontre aussi dans le Weald un grand nombre de reptiles terrestres et d'insectes ailés, ce qui y rend plus frappante encore l'absence de tout quadrupède terrestre. Une autre circonstance non moins remar-

(1) *Proceed. Geol. Soc.*, vol. I, p. 414.

(2) Buckland, *Bridgewater Treatise*, et Brodie, *Fossil Insects*. Ce dernier pense que les élytres peuvent appartenir au *Prionus*.

quable, c'est l'absence totale d'ossements de baleines, de veaux marins, de dauphins et d'autres mammifères aquatiques dans la craie ou dans les oolithes supérieure et moyenne. Il est vrai que l'on a cité jadis un os trouvé dans la Grande Oolithe d'Enstone près de Woodstock, Oxfordshire, et que, d'après l'autorité de Cuvier, on rapportait aux Cétacés. Le Docteur Buckland ayant eu la bonté de m'envoyer ce prétendu cubitus de baleine, M. Owen l'examina, et fut d'avis qu'il n'appartenait pas à cette famille; l'avant-bras chez ces mammifères marins est invariablement plus aplati; en outre, il est dépourvu de toutes dépressions et crêtes à insertions musculaires, tandis qu'on observe vers le milieu de l'os en question une saillie très-proéminente (fig. 411). Or, comme chez les sauriens ces aspérités existent pour l'attache des muscles, il est probable que cet os appartient à quelque animal de cet ordre.

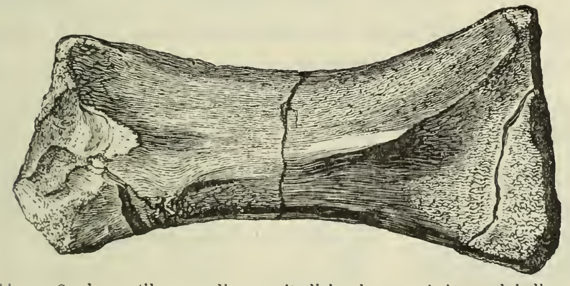


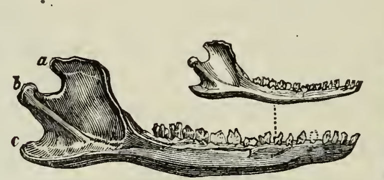
FIG. 411. — Os de reptile, que l'on avait d'abord supposé être celui d'un Cétacé. Grande Oolithe d'Enstone, près de Woodstock.

On comprend, dès lors, tout l'intérêt qui s'attache à la découverte, dans le schiste de Stonesfield, de dix mâchoires inférieures de quadrupèdes mammifères appartenant à quatre espèces et à trois genres nommés *Amphitherium*, *Phascolotherium* et *Stereognathus*. Lorsqu'en 1818, on fit voir à Cuvier l'un de ces ossements (celui d'un Amphitherium), il déclara qu'il provenait d'un petit mammifère pourvu d'une mâchoire semblable à celle de l'*Opossum*, et différant de tous ses congénères par le grand nombre de molaires, dont 10 au moins existaient à chaque rangée.

Depuis, un échantillon plus parfait du même fossile fut découvert par le Docteur Buckland (fig. 412), et M. Owen put compter 12 molaires, une alvéole de petite canine et 3 petites incisives en place, en tout 16 dents sur chaque côté de la mâchoire inférieure.

Quant à la question de savoir si ces fossiles appartiennent à un mammifère, à un reptile ou à un poisson, l'ostéologiste

Grandeur naturelle.



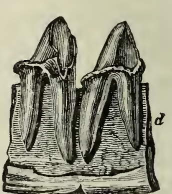


FIG. 412. — *Amphitherium Prevostii*, Cuv. Sp. Schiste de Stonesfield. Syn. *Thylacotherium Prevostii*, Valenc.

a. Apophyse coronoïde. — *b*. Condyle. — *c*. Angle de la mâchoire. — *d*. Molaire à double racine.

observe que chacune des demi-mâchoires est composée d'une seule pièce, et non de deux ou plusieurs os séparés, comme dans les poissons et la plupart des reptiles, ou de deux os réunis par une suture, dans quelques espèces de ces deux classes.

De plus, le condyle (*b*, fig. 412), ou surface articulaire qui unit la mâchoire inférieure à la supérieure, est convexe dans les mâchoires de Stonesfield, et non concave, comme dans les poissons et les reptiles. L'apophyse coronoïde (*a*, fig. 412) est très-développée, tandis qu'elle est petite ou même manque totalement dans les classes inférieures des vertébrés. Enfin, les dents molaires, chez l'*Amphitherium* et le *Phascolotherium*, ont la couronne complexe et deux racines (*d*, fig. 412), au lieu d'être simple et d'avoir une racine unique (1).

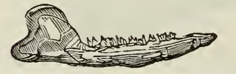


FIG. 413. — *Amphitherium Broderipi*, Owen; grandeur naturelle.

(1) J'ai donné dans les *Principes de Géol.*, chap. XI, la figure d'un autre fossile de Stonesfield, *Amphitherium Prevostii;* les alvéoles et les racines des dents y sont représentés avec détail.

Il reste à décider si le mammifère fossile trouvé dans l'Oolithe Inférieure du comté d'Oxford doit être rapporté aux quadrupèdes marsupiaux ou bien à la série des placentaires ordinaires. Cuvier avait depuis longtemps fait remarquer, dans la forme de l'apophyse angulaire (*c*, fig. 417 et 418) de la mâchoire inférieure, une particularité qui caractérise le genre *Didelphys ;* M. Owen a établi depuis que ce caractère s'appliquait à la série entière des Marsupiaux. Chez tous ces quadrupèdes à poche, l'apophyse est dirigée en dedans, comme en *c*, *d*, de la figure 417, qui représente un *Opossum* du Brésil, tandis que, dans la série des Placentaires, comme en *c* (fig. 415, 416), cette inflexion est à peine marquée. La

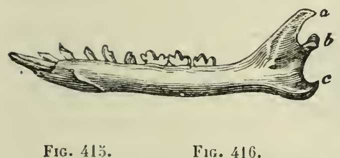


FIG. 414. — *Tupaia Tana.* Branche droite de la mâchoire inférieure ; grandeur naturelle. Mammifère placentaire, insectivore, récent, de Sumatra.

FIG. 415. FIG. 416.

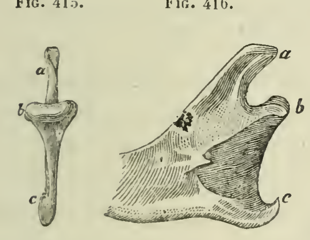
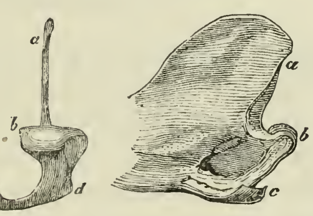


FIG. 417. FIG. 418.



Portion de mâchoire inférieure de la *Tupaia Tana ;* double de grandeur naturelle.
FIG. 415. — L'extrémité, vue de derrière, montrant la très-légère courbure de l'angle en *c*.
FIG. 416. — La même, vue de côté.

Portion de mâchoire inférieure du *Didelphys Azaræ*, récent, Brésil ; grandeur naturelle.
FIG. 417. — L'extrémité vue de derrière montrant la courbure de l'angle de la mâchoire, *c*, *d*.
FIG. 418. — La même, vue de côté.

Tupaia Tana de Sumatra a été choisie comme exemple par mon ami Waterhouse, parce que ce petit quadrupède insectivore offre une grande ressemblance avec l'*Amphitherium* de Stonesfield. En dégageant de sa gangue l'échantillon d'*Amphitherium Prevostii* représenté ci-dessus (fig. 412), le Professeur Owen s'est assuré que l'apophyse angulaire (*c*) se courbait moins en dedans que chez aucun des marsu-

piaux connus; l'inflexion n'est pas plus prononcée que chez une taupe ou chez un hérisson. Cette circonstance rapprocherait l'animal des insectivores placentaires. Néanmoins l'*Amphitherium* offre, dans son squelette, quelques points d'analogie avec les Marsupiaux, spécialement avec le *Myrmecobius*, petit quadrupède insectivore de l'Australie, qui a de chaque côté de la mâchoire inférieure neuf molaires, une canine et trois incisives (1).

Une autre espèce d'*Amphitherium* (fig. 413, p. 628) a été trouvée près de Stonesfield; elle est plus grande que la précédente, représentée (fig. 412).

Le second genre de mammifères (fig. 419) découvert dans les mêmes schistes a été nommé d'abord par M. Broderip



FIG. 419. — *Phascolotherium Bucklandi*, Broderip. sp.
a. Grandeur naturelle. — *b*. Molaire grossie.

Didelphys Bucklandi, puis, par M. Owen, *Phascolotherium*. Il offre une ressemblance frappante avec les Marsupiaux, par la forme générale de la mâchoire, et par l'étendue et la position de son angle infléchi; mais le nombre de ses prémolaires et molaires le rapproche tout à fait du genre vivant des Didelphes (2).

En 1854, M. Charlesworth annonça à l'Association britannique que le Rev. J. P. Dennis avait découvert, quelques années auparavant, dans le schiste de Stonesfield, les restes d'un autre mammifère, de taille petite, mais cependant supérieure à celle de tous les mammifères précédemment connus de ce dépôt. Ce spécimen de fossile, auquel on donna le nom générique de *Stereognathus*, consistait, comme c'est habituellement le cas dans ces roches anciennes

(1) On peut voir une figure de ce *Myrmecobius* récent dans les *Principes*, ch. IX.

(2) Owen, *Brit. foss. Mammals*, p. 62.

(voir au-dessus, p. 597), en une portion de mâchoire inférieure, dans laquelle étaient implantées trois dents à double racine, dont la structure différait de celles de tous les autres mammifères connus, d'espèce récente ou éteinte. Suivant le Professeur Owen, la molaire du *Pliolophus,* petit genre herbivore éteint de l'argile de Londres, est la dent qui se rapproche le plus de celle en question. Le *Stereognathus*, à en juger par la forme et la structure de ses dents, aurait été un quadrupède doué d'une organisation supérieure à celle de n'importe quel mammifère découvert jusqu'à présent dans les couches secondaires; mais les doutes que suscite sa véritable identification fournissent un exemple du désappointement auquel on s'expose, en paléontologie, lorsqu'on s'appuie, hors de certaines limites, sur la loi de corrélation de Cuvier, et sur les conformations coexistentes dans les animaux. Étant donné un maxillaire inférieur avec trois molaires complètes, deux ou plusieurs canines implantées dans des alvéoles séparées, trouver le reste de l'organisme ou déterminer, au moins, la famille et le sous-ordre auxquels appartient l'animal : — tel est le problème à résoudre. Cela posé, le Professeur Owen nous dit que le *Stereognathus*, d'après ce qu'il croit, était un animal à sabot, herbivore et placentaire ; mais il ajoute que, pour peu que la physiologie prouve le contraire, ce *Stereognathus* pourrait bien avoir été un animal unguiculé, insectivore et de l'ordre des marsupiaux (1).

Owen a remarqué que les genres de marsupiaux, auxquels le *Phascolotherium* est allié de très-près, se trouvent aujourd'hui relégués dans la Nouvelle-Galles et la Terre de Van Diémen, et que c'est seulement dans les mers australiennes que l'on trouve le *Cestracion*, sélacien à palais osseux et présentant des affinités avec l'*Acrodus* (fig. 419, t. II) et le *Strophodus*, si communs dans l'Oolithe et le Lias. On rencontre, près des rivages, au sein des mêmes mers australiennes,

(1) *Owen's Paleontology*, 2e édit., p. 348.

des *Trigonies* vivantes, genre de mollusques fréquemment observé dans le schiste de Stonesfield. Les *Araucaria* et les fougères, aujourd'hui si nombreuses dans l'Australie et les îles voisines, abondaient également en Europe pendant la période Oolithique (fig. 421). On trouve dans les dépôts de cette période des Endogènes en parfait état de conservation, le *Podocarya* de Buckland (fig. 420), par exemple, fruit qui se rapproche pour la forme de celui du *Pandanus* de l'Oolithe Inférieure.

Dans sa direction à partir de l'Oxfordshire vers le nord-est, le schiste de Stonesfield est représenté par des grès schistoïdes fissiles, à Collyweston dans le Northamptonshire

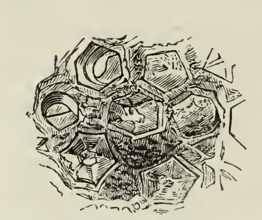


FIG. 420. — Portion de fruit fossile du *Podocarya*, grossie. (Buckland, *Bridgewater Treatise*, pl. 63.) Oolithe Inférieure. Charmouth, Dorset.

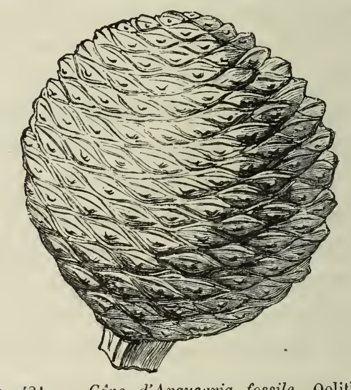


FIG. 421. — *Cône d'Araucaria fossile*. Oolithe Inférieure. Bruton, Somersetshire. Un tiers de diamètre de l'original qui fait partie de la collection du British Museum.

par exemple, où, suivant MM. Ibbeston et Morris (1), il contient une grande quantité de coquilles, telles que la *Trigonia angulata* que l'on trouve aussi à Stonesfield. Mais les couches du Northamptonshire ont un caractère plus marin, ou paraissent du moins s'être formées plus loin des terres. Elles renferment cependant quelques fougères fossiles, comme le *Pecopteris polypodioïdes*, espèce commune à

(1) Ibbeston et Morris, *Rep. of Brit Assoc.*, 1847, p. 131 ; et Morris, *Geol. Journ.*, IX, p. 334.

l'Oolithe de la côte du Yorkshire, où les couches du même âge offrent l'aspect d'un véritable bassin houiller; quelques minces filons de houille ont même été exploités dans ce district pendant plus d'un siècle.

Dans le nord-ouest de l'Yorkshire, la formation consiste en couches supérieures et inférieures de schistes carbonifères, abondant en impressions de plantes, et séparés par un calcaire interposé que plusieurs géologues considèrent comme un représentant de la Grande Oolithe; mais la rareté des fossiles marins rend extrêmement difficile toute comparaison avec les sous-divisions adoptées dans le sud. Une riche moisson de fougères fossiles a été obtenue des schistes et grès charbonneux supérieurs de Gristhorpe, près de Scarborough (fig. 384 et 385). Les schistes inférieurs se reconnaissent

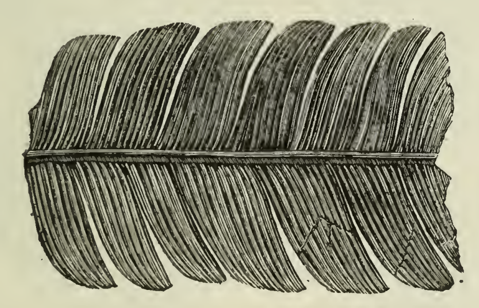


Fig. 422. — *Pterophyllum comptum.* Syn., *Cycadites comptus.* Grès et schiste supérieurs; Gristhorpe, près de Scarborough.



Fig. 423. — *Hemitelites Brownii*, Goepp. Syn., *Phlebopteris contigua*, Lind et Hutt. Couches charbonneuses supérieures; Oolithe Inférieure, Gristhorpe, Yorkshire.

parfaitement dans les falaises de Whitby, et sont spécialement caractérisés par des fougères et des cycadées. Ils contiennent aussi une espèce de calamite et l'*Equisetum colum-*

nare, qui se trouve en position verticale dans les couches de grès, sur une vaste étendue. Des coquilles d'*Estheria* et d'*Unio*, extraites de ces lits houillers par M. Bean, assignent au dépôt une origine estuaire ou fluviatile.

A Brora, comté de Sutherland, une formation charbonneuse, probablement contemporaine de la précédente ou appartenant à quelqu'une des divisions inférieures de la période Oolithique, a été exploitée comme mine pendant plus d'un siècle. C'est la couche de matière végétale pure la plus épaisse que l'on ait encore rencontrée dans une roche secondaire de l'Angleterre. Une veine de charbon de bonne qualité s'y présente sur 1 mètre d'épaisseur, et il reste encore au-dessus du point exploité plusieurs mètres de houille pyriteuse.

Terre à foulon (*Fuller's Earth*) (*h*, Tabl., p. 586). — Entre la Grande Oolithe et l'Oolithe Inférieure, près de Bath, on trouve un dépôt argileux appelé *terre à foulon*, et qui manque absolument dans le nord de l'Angleterre ; il abonde en petites huîtres (fig. 424). Les mollusques connus dans ce dépôt sont seulement au nombre de 22, savoir : 17 bivalves lamellibranches, 4 brachiopodes, et 1 céphalopode (*Belemnites giganteus*).



Fig. 424. — *Ostrea acuminata*. Fuller's Earth.

Oolithe inférieure. — Cette formation consiste en calcaire, pierre de taille, habituellement peu épais, gisant d'ordinaire sur des sables jaunes qui le remplacent quelquefois ; on nomme ceux-ci Sables de l'Oolithe Inférieure. Ils reposent



Fig. 425. — *Terebratula fimbria*. Oolithe Inférieure.

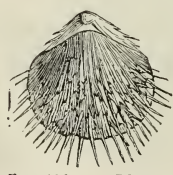


Fig. 426. — *Rhymchonella spinosa*. Oolithe Inférieure.

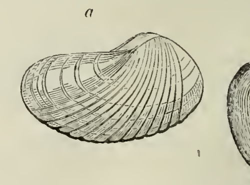


Fig. 427. — *a*. *Pholadomya fidicula ;* un tiers de grandeur naturelle. Oolithe Inférieure. — *b*. Partie antérieure en forme de cœur.

à leur tour sur le Lias, dans le sud et à l'ouest de l'Angle-

terre. Parmi les coquilles caractéristiques de l'Oolithe Inférieure, je citerai les *Terebratula fimbria* (fig. 425), *Rhyn-*

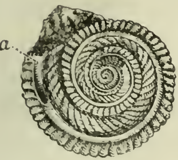


FIG. 428. — *Pleurotomaria granulata*. Oolithe ferrugineuse, Normandie. Oolithe Inférieure, Angleterre.



FIG. 429. — *Pleurotomaria ornata*, Sow. Sp. Oolithe Inférieure.

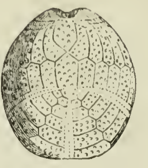


FIG. 430. — *Collyrites ringens*. Oolithe Inférieure. Somersetshire.

chonella spinosa (fig. 426) et *Pholadomya fidicula* (fig. 427). Le genre éteint des *Pleurotomaria* est commun dans cette

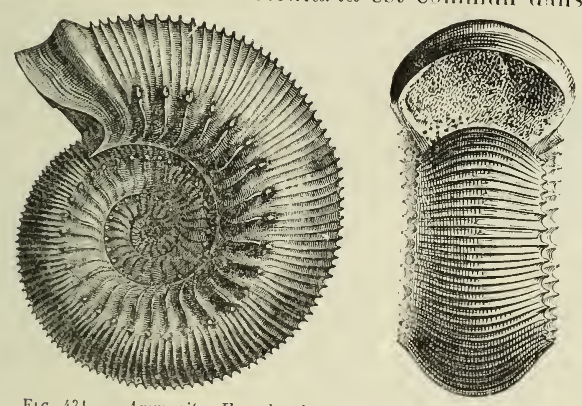


FIG. 431. — *Ammonites Humphresianus*. Sow. Oolithe Inférieure.

division comme dans tout le système Oolithique en général. Par sa forme, ce genre ressemble au *Trochus*, mais il porte



FIG. 432. — *Ammonites Braikenridgii*, Sow. Oolithe, Scarborough. Oolithe Inférieure, Dundry Calvados, etc.

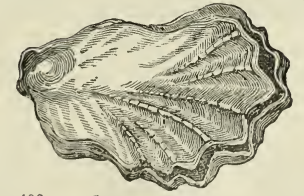


FIG. 433. — *Ostrea Marshii*; demi-grandeur naturelle. Oolithes Moyenne et Inférieure. Du Coral Bay au Cornbrash.

sur le côté droit de la bouche une fente profonde (*a*, fig. 428

et fig. 429). Le *Collyrites ringens* (fig. 430 est un Échinoderme fréquent dans l'Oolithe Inférieure d'Angleterre et de France, de même que les deux Ammonites dont nous donnons ici les figures (fig. 431 et 432).

Rapports paléontologiques des couches Oolithiques. — On a déjà fait des observations, p. 538, sur les caractères qui distinguent les couches Oolithiques des formations crétacées, et pp. 614, 620, sur la proportion des espèces communes aux Oolithes Supérieure et Moyenne, ainsi qu'aux Oolithes Moyenne et Inférieure. Il existe une lacune un peu plus grande entre cette dernière formation et le Lias, car sur 120 mollusques du Lias Supérieur, 13 espèces seulement passent au-dessus dans l'Oolithe Inférieure. Le Professeur Ramsay appelle notre attention sur un fait général fort important dont nous n'avons pas encore parlé. Il nous dit qu'il existe pour le moment de plus grandes lacunes entre quelques-unes de nos sous-divisions de second ordre et spécialement entre l'Oolithe Inférieure et la grande Oolithe, considérées au point de vue paléontologique, qu'entre les divisions que nous regardons en général comme étant d'un ordre plus élevé, telles que les Oolithes Inférieure, Moyenne et Supérieure. Ainsi, par exemple, on compte, suivant les tableaux de M. Éthéridge, 518 espèces de mollusques connus dans la Grande Oolithe et 370 dans l'Oolithe Inférieure, et sur ce nombre, 97 seulement, ou 12 p. 100 environ, sont communes aux deux formations. Circonstance encore plus remarquable, c'est que sur 39 espèces de Céphalopodes connus dans l'Oolithe Inférieure, une seule passe au-dessus dans la Grande Oolithe, la *Belemnites giganteus*, et certains paléontologistes ont même mis en question si cette Bélemnite avait été réellement trouvée dans le groupe supérieur de ces deux formations. Ce caractère distinct des Céphalopodes est d'autant plus frappant, que les deux formations Oolithiques, la grande et l'inférieure, sont également calcaires, et que, par suite, on ne peut compter, pour établir la

différence des espèces, sur aucune dissemblance marquée dans la nature du lit de la mer. Quant à la terre à foulon intercalée dans ces couches, elle n'apporte que de faibles renseignements sur la condition de la vie marine, car elle n'a fourni jusqu'à présent que 22 mollusques, ainsi que nous l'avons mentionné précédemment, p. 634.

Il faut observer, toutefois, que, lorsque nous exprimions la lacune existante entre deux grands membres de l'Oolithe Inférieure en disant que la proportion des espèces communes montait seulement à 12 p. 100, nous faisions remarquer, en même temps, que la communauté des espèces était de 24 p. 100 dans les Oolithes Supérieure et Moyenne et de 21 p. 100 dans les Oolithes Moyenne et Inférieure. En d'autres termes, il y aurait une connexité deux fois plus considérable entre nos grandes divisions qu'entre deux membres séparés de l'une d'elles.

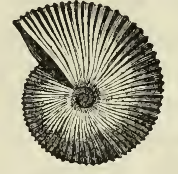


FIG. 434. — *Ammonites Macrocephalus*, Schloth. Un tiers de grandeur naturelle. Grande Oolithe et Argile d'Oxford.

Concernant les coquilles occupant une large place dans le sens vertical, on constatera que l'on ne connaît en Angleterre que 4 espèces, pas davantage, qui montent de l'Oolithe Inférieure à l'Oolithe Supérieure, ce sont : *Rhynchonella obsoleta*, *Lithodomus inclusus*, *Pholadomya ovalis*, et *Trigonia elongata*.

Entre toutes les Ammonites Jurassiques de la Grande-Bretagne, le *A. Macrocephalus*, Schloth., commun à la Grande Oolithe et à l'Argile d'Oxford est celle qui est le plus répandue.

Le Professeur Ramsay fait remarquer qu'on est en droit d'attribuer à une migration la plupart des brusques changements survenus dans les espèces, en se fondant sur ce fait, que ces espèces, après avoir disparu d'une formation intermédiaire, reparaissent souvent dans une formation plus élevée. En somme, le phénomène indique la disparition dans le dépôt d'espèces préexistantes, et l'apparition

d'espèces nouvelles. Nous avons toute raison de conclure que les hiatus qui se présentent, soit dans les plus grandes, soit dans les plus petites divisions des Oolithes d'Angleterre, impliquent des intervalles de temps, représentés ailleurs par des couches fossilifères, quoiqu'il n'existe en Angleterre aucun dépôt de ce genre. Cette conclusion se trouve confirmée, même dans ce dernier pays, par l'étendue limitée de la plupart des divisions de second ordre, et de quelques divisions de premier ordre de ces Oolithes. « Ainsi, l'Oolithe Inférieure, » dit le Professeur Ramsay, « atteint son maximum de développement aux environs de Cheltenham, où elle peut être sous-divisée au moins en trois parties. En se dirigeant vers le nord, les deux divisions inférieures, chacune d'elles étant caractérisée plus ou moins par ses fossiles propres, disparaissent, et le rag-stone, au nord-est de Cheltenham, repose directement sur le Lias, avec une telle conformité de superposition, que ces deux formations sembleraient être des membres successifs et immédiats de la même série. Sur la côte du Dorsetshire, la série, quoique mince, se présente de nouveau à l'état complet. Près de Chipping Norton, dans l'Oxfordshire, l'Oolithe Inférieure disparaît entièrement, et la Grande Oolithe, après avoir recouvert la terre à foulon, traverse l'Oolithe Inférieure et repose à son tour sur le Lias supérieur avec une régularité si parfaite, qu'il semblerait que ces deux couches n'ont jamais été séparées par une formation intermédiaire sur un point quelconque du voisinage. Dans l'Yorkshire, le type modifié de l'Oolithe Inférieure, la prédominance des sables, des plantes terrestres et des lits de houille, ne laissent aucun doute sur la présence d'un sol recouvert de végétation, et tous ces phénomènes nous conduisent à conclure que plusieurs oscillations considérables de niveau ont eu lieu dans la Grande-Bretagne, pendant le dépôt des couches, tant de l'Oolithe Inférieure, que des formations qui lui ont immédiatement succédé (1). »

(1) *Geol. Qurt. Journ.*, vol. XX, p. 55, 1864.

M. Howell a fait remarquer que le Cornbrash et la roche de Kelloway manquent quelquefois dans le Bedfordshire, et que l'argile d'Oxford repose en stratification concordante sur la Grande Oolithe, montrant, comme les exemples déjà cités, que la conformité n'est pas une preuve de succession directe. Cette dernière observation sert à nous affermir de plus en plus dans cette opinion, que les changements du monde organique doivent s'être opérés d'une manière graduelle et ininterrompue, quoique le caractère incomplet des souvenirs dont nous disposons nous amène à conclure, en nous tenant toutefois constamment en garde contre l'erreur, qu'il y a eu de nombreux temps d'arrêt, généraux et soudains dans la marche de la nature, ainsi que des transitions brusques dans les diverses séries des types organiques.

FIN DU TOME PREMIER.

TABLE DES MATIÈRES

DU PREMIER VOLUME.

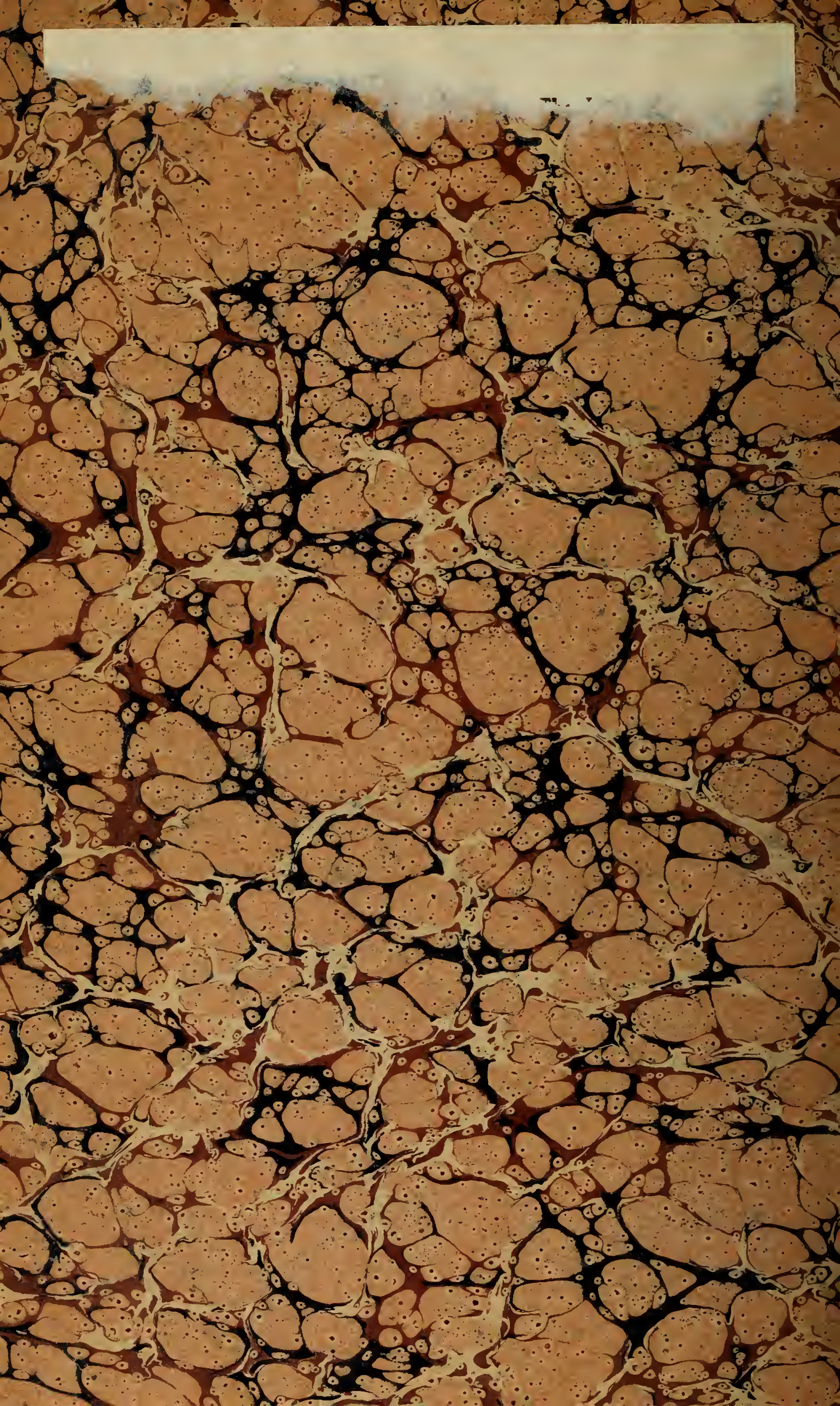
CHAPITRE XII. — *Suite de la période Post-pliocène. — Fin de l'époque Glaciaire.*

CHAPITRE XIII. — *Classification des Formations Tertiaires. — Période Pliocène.*

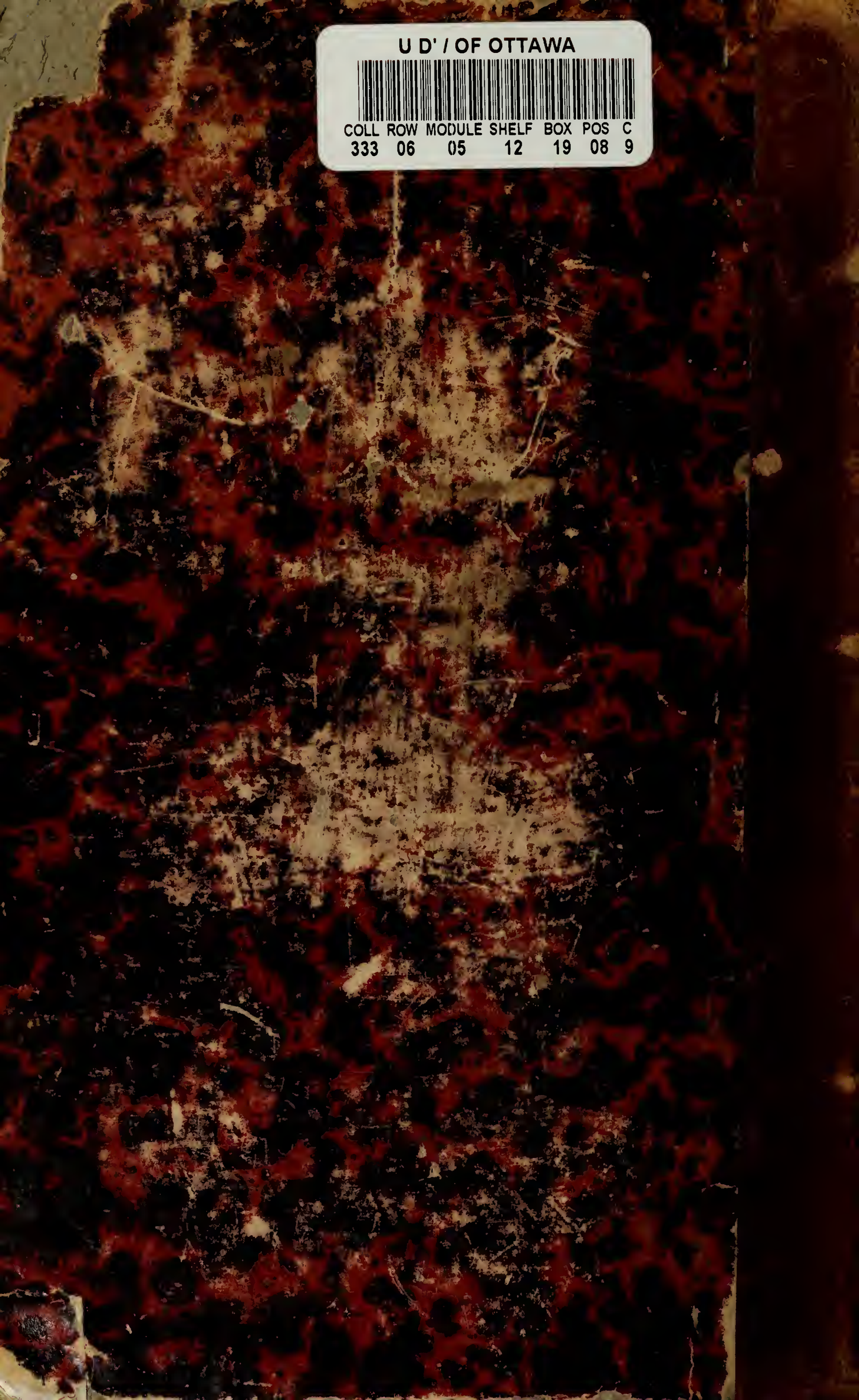
CHAPITRE XIV. — *Période Miocène.*

FIN DE LA TABLE DU PREMIER VOLUME.

Corbeil, typ. et stér. de Crété.




a39003 006633480b


U D' / OF OTTAWA
COLL ROW MODULE SHELF BOX POS C
333 06 05 12 19 08 9